L'USINE NOUVELLE

SÉRIE | GESTION INDUSTRIELLE

Jean Héng

PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

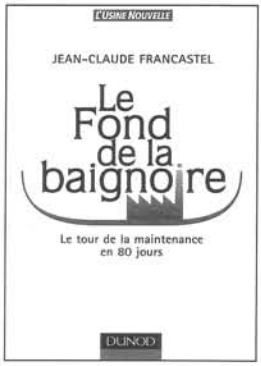
Mécanique • Pneumatique Hydraulique • Électricité • Froid

DUNOD

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR



J.-C. FRANCASTEL
Externalisation de la maintenance : stratégies, méthodes et contrats
416 p.



J.-C. FRANCASTEL
Le Fond de la baignoire : le tour de la maintenance en 80 jours
192 p.



F. MONCHY
Maintenance : méthodes et organisations
528 p.



R. CUIGNET
Management de la maintenance
184 p.

PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Ce pictogramme mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du **photocopillage**.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.



Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (**CFC**, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, Paris, 2002
ISBN 2 10 006561 0

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. • Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

TABLE DES MATIÈRES

A

Principes et mise en œuvre

1 • Définitions et méthodes 3

1.1 Définitions 3
1.2 Différents types de maintenance préventive 4
1.3 Objectifs visés par la maintenance préventive 6
1.4 Principes élémentaires 7
1.5 Contrôles périodiques réglementaires 11
1.6 Fiabilité et maintenance préventive 15
1.7 TPM et maintenance préventive 17
1.8 Mise en place de la maintenance préventive 19
1.9 Maintenance préventive et sous-traitance 25

2 • Mise en œuvre 27

2.1 Arborescences 27
2.2 Historique machine 40
2.3 Sélectivité 40
2.4 Élaboration d'un plan de maintenance préventive 47
2.5 Plan de maintenance préventive 52
2.6 Documents opérationnels 53
2.7 Planification des travaux de maintenance préventive 61
2.8 GMAO et planification de maintenance préventive 68
2.9 Suivis de l'application 69
2.10 Préparation des arrêts 70
2.11 Analyses quotidiennes et méthodes 72
2.12 Intégration des contrôles réglementaires 75

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

B

Techniques

3 • Contrôles non destructifs 79

3.1 Lubrification 79
3.2 Analyse vibratoire 100
3.3 Thermographie infrarouge 112
3.4 Mesure d'épaisseur 115

4 • Mécanique 121

4.1 Roulements 121
4.2 Accouplements 130
4.3 Courroies et poulies de transmission 141
4.4 Chaînes et roues de transmission 152
4.5 Transmissions à cardan 158
4.6 Chaînes et roues de manutention 163
4.7 Pompes centrifuges et volumétriques 171
4.8 Surpresseurs à pistons rotatifs 179

5 • Pneumatique 185

5.1 Compresseurs à vis lubrifié 185
5.2 Compresseurs à pistons 188
5.3 Traitement de l'air comprimé 192
5.4 Sécheur par adsorption 196
5.5 Sécheur par réfrigération 200
5.6 Sécheur par absorption 204
5.7 Conditionnement d'air comprimé 208
5.8 Vérin pneumatique 213

6 • Hydraulique 221

6.1 Centrale hydraulique 221
6.2 Filtration d'huile hydraulique 234
6.3 Accumulateur hydraulique à membrane 238
6.4 Accumulateur hydropneumatique à vessie 241
6.5 Accumulateur à piston 244
6.6 Vérins hydrauliques 247

7 • Électricité 253

7.1 Transformateur de puissance 253
7.2 Batterie d'accumulateurs 261
7.3 Moteur à courant continu 265
7.4 Moteur asynchrone triphasé 278
7.5 Moteur frein 288
7.6 Servomoteur 292

8 • Automatisme 297

8.1 Automate programmable industriel 297
8.2 Détecteurs de proximité 307
8.3 Thermocouple 318
8.4 Détecteur optoélectronique 328
8.5 Détecteur ultrasonique 339
8.6 Codeur optique 343
8.7 Codeur magnétique 348

9 • Froid 351

9.1 Production du froid 351
9.2 Groupe frigorifique industriel 362
9.3 Refroidisseur-réchauffeur 371

Annexe • Périodicités des contrôles réglementaires 379

Index alphabétique 385

A

Principes et mise en œuvre

1 • DÉFINITIONS ET MÉTHODES

1.1 Définitions

D'après l'Afnor (NF X 60-010) : « La *maintenance* est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».
Dans une entreprise, *maintenir*, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

1.1.1 De l'entretien à la maintenance

Cette différence de vocabulaire n'est pas une question de mode, mais marque une évolution de concept. Le terme maintenance est apparu dans les années 1950 aux États-Unis. En France, on parlait encore à cette époque d'entretien. Progressivement, une attitude plus positive vis-à-vis de la défaillance voit le jour. Il faut tirer une leçon de l'apparition d'une panne pour mieux réagir face aux aléas de fonctionnement (figure 1.1).
Le terme « maintenance » se substitue à celui d'« entretien » qui signifie alors « maintenance corrective ».
Entretenir, c'est dépanner, réparer pour assurer le fonctionnement de l'outil de production : *entretenir*, c'est subir le matériel.

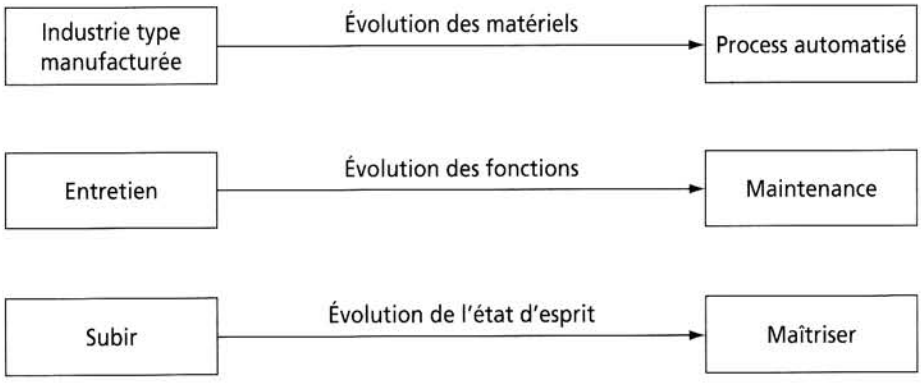


Figure 1.1 – De l'entretien à la maintenance.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

Maintenir, c'est intervenir dans de meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession : *maintenir*, c'est maîtriser.

1.1.2 Maintenance préventive

Dans la définition de la *maintenance préventive*, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement.
La maintenance préventive s'oppose en cela à la *maintenance corrective* déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance.
La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites systématiques,
- les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- les remplacements systématiques,
- la maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » au moyen d'une liste des points à examiner. Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. Il s'agit d'une *détection d'anomalie* et non de maintenance préventive.
Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière *à prévoir* une intervention dans un délai raisonnable (1 mois, par exemple) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet).

1.2 Différents types de maintenance préventive

1.2.1 Maintenances préventives systématiques

■ Visites systématiques

Les visites sont effectuées selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. À chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc.), soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : Rien à signaler, Début de dégradation, Dégradation avancée et Danger.
Par principe, la maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne.

■ Remplacements systématiques

Selon un échéancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous-ensemble complet (il s'agit d'un échange standard).

Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il vaut toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants :

- lorsque des raisons de sécurité s'imposent ;
- lorsque le coût de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au coût de remplacement ;
- lorsque le coût de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites systématiques ;
- lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

Le risque de remplacement systématique est de changer des éléments encore capables d'assumer le bon fonctionnement pendant un temps non négligeable. La visite systématique permet tout d'abord de capitaliser les expériences sur le comportement des organes soumis aux conditions d'utilisation réelle.

■ Ronde ou visite en marche

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine. Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable. Les contrôles sont simples à réaliser : lecture des valeurs des paramètres, examens sensoriels... Les valeurs des paramètres pour un fonctionnement normal sont connues à l'avance.

Exemples

Une fuite plus ou moins importante traduit le degré d'usure de la garniture mécanique d'une pompe.

Une augmentation d'intensité d'un moteur indique une augmentation de l'effort demandé. La plupart du temps, le problème vient de la partie menée.

Un échauffement anormal signale un problème de roulement.

Tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes.
Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines de production et aux exploitants pour les utilités. Ce sont eux qui sont le mieux placés pour constater les conditions de l'apparition des pannes.

1.2.2 Maintenance préventive conditionnelle

D'après la définition Afnor, il s'agit de la « maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure...) ».
La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé.
Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive. L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

préventive permet de déceler les seuils d'alerte, tant dans les technologies relevant de la mécanique que celles de l'électronique.
Au cours de la conception d'une installation, on définit des tolérances pour certains paramètres. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la défaillance d'un organe. Mais lorsqu'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut être complètement perturbé.
Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être :

- une mesure électrique (tension, intensité...) ;
- une mesure de température ;
- un pourcentage de particules dans l'huile ;
- un niveau de vibration...

On choisit comme paramètre à suivre celui qui caractérise le mieux la dégradation des composants ou la cause de la perturbation de fonctionnement.

1.2.3 Télémaintenance

Le système de supervision permet tout à la fois la conduite d'une installation et la détection d'aléas de fonctionnement. Les informations sont reçues à travers les capteurs et transmises à une centrale de surveillance qui enregistre les alarmes et les paramètres. Grâce au tableau synoptique qui visualise la localisation de ces informations, l'agent de surveillance réagit en conséquence dès l'apparition d'un défaut ou d'une variation anormale d'un paramètre.
Ce système, équivalent à une ronde, est utilisé pour surveiller un ensemble d'équipements dont la localisation est dispersée d'une part, et dont l'accès est difficile et parfois dangereux d'autre part.
Le système de télémaintenance peut être entièrement automatisé. La gestion des actions, de type conditionnel, est réalisée à l'aide de modules de progiciel.

1.3 Objectifs visés par la maintenance préventive

1.3.1 Améliorer la fiabilité du matériel

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

1.3.2 Garantir la qualité des produits

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

1.3.3 Améliorer l'ordonnancement des travaux

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.
Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

1.3.4 Assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.
Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

1.3.5 Améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

1.3.6 Améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.
En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- la sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- la fiabilité : amélioration, connaissance des matériels ;
- la production : moins de pannes en production.

1.4 Principes élémentaires

1.4.1 Principes de bonne conduite

Il est important de s'assurer que quelques principes de bonne conduite sont respectés pour la réussite de l'application du programme de maintenance préventive dont l'objectif est de maîtriser les pannes. Ces principes sont simples et primordiaux.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

■ Bien conduire

Souvent, la conduite ou l'utilisation du matériel sans précautions génèrent de nombreux dysfonctionnements qui peuvent aller jusqu'à la casse. Le respect des paramètres de fonctionnement est essentiel dans la bonne conduite.
En effet, le suivi des paramètres de fonctionnement (température, pression, intensité...) permet souvent de déceler des dérives ou des débuts de dégradation.

■ Bien nettoyer

Une installation propre permet d'obtenir des conditions saines d'intervention de la part des conducteurs et des intervenants d'entretien, en terme :

- de facilité de diagnostic de panne,
- de rapidité d'intervention,
- de qualité des opérations de maintenance.

Cependant sur une installation propre, une faible trace de fuite ne sera pas inaperçue. Une instruction de nettoyage indiquant comment l'effectuer et avec quels instruments est parfois nécessaire. On utilise les chiffons, les éponges, les spatules comme outils de nettoyage. Les produits de nettoyage sont nombreux et le choix se fait en fonction du besoin et de l'environnement.
Dans les industries chimiques et alimentaires, la procédure de nettoyage fait partie du process de fabrication.
Les machines outils ou les centres d'usinage sont quelquefois si compliqués que l'ouvrier ne peut pas les nettoyer sans perdre un temps précieux. Les couvercles de protection doivent être facilement démontables en utilisant des fixations convenables. On aura besoin de les enlever pour nettoyer en dessous. La poussière et les corps étrangers ont tendance à s'y infiltrer et à former une pâte dangereuse sur les glissières. Il est recommandé d'utiliser des aspirateurs industriels dont les filtres résistent aux huiles et aux liquides de refroidissement.

■ Bien réparer

Il est important d'assurer la qualité des interventions de maintenance dans le respect des règles de l'art. On remarque parfois que ces règles de l'art ne sont pas toujours appliquées, pour raccourcir le temps. Il en résulte souvent que les dysfonctionnements ou pannes reviennent après la mauvaise réparation.
Dans certaines circonstances, les techniciens effectuent un dépannage provisoire. Il ne faut pas oublier dans ce cas de revenir et refaire correctement le travail.

■ Bien lubrifier

Le graissage et la lubrification sont trop souvent considérés, à tort, comme des opérations peu importantes en maintenance. Négliger ces opérations conduit inéluctablement à plus de défaillances, voire des casses de matériels.
Chaque lubrifiant et chaque graisse ont leur utilisation. Il faut graisser au bon moment et avec une quantité suffisante sans excès. Les instructions de graissage sont très importantes.

Dans une entreprise de grande taille, il est nécessaire d'avoir un plan de graissage à jour. Ce plan doit tenir compte de tous les points de graissage. La suppression et l'ajout des organes à graisser proviennent des modifications.
Les graisseurs ne doivent pas exister sur des paliers dont les roulements sont graissés à vie. Ceci n'entraîne que de mauvaise confusion.

1.4.2 Critère de proximité

Pour certains équipements, le démontage est difficile et coûteux en temps et en moyen. Alors si l'objectif de ce démontage est de remplacer un organe qui a atteint sa limite de durée de vie, il est préférable de remplacer par la même occasion d'autres organes qui risquent d'être remplacés dans peu de temps et qui demanderont à nouveau le même démontage.
Dans la pratique de la maintenance préventive, on limite le nombre de démontages et remontages, générateurs de faiblesses, en donnant la même périodicité d'intervention à toutes les pièces d'un sous-ensemble.
L'échéancier se rapportera donc aux déposes des modules, sauf pour quelques pièces fragiles dont la gestion sera individuelle.

1.4.3 Différents niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme NF X 60-010.
Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration.

■ 1er niveau de maintenance

Il s'agit essentiellement de contrôle et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines :

- niveau d'huile moteur ;
- niveau d'eau ;
- indicateur de colmatage ;
- niveau de la réserve de combustible ;
- niveau de la réserve d'huile ;
- régime du moteur ;
- température de l'eau de refroidissement ;
- température d'échappement ;
- test des voyants et indicateurs ;
- purge de circuit d'échappement ;
- nettoyage des filtres ;
- contrôle visuel de l'état des organes ;
- contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de maintenance ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et de démontage. Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveaux supérieurs.
En règle générale les interventions de 1er niveau sont intégrées à la conduite des machines.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ 2e niveau de maintenance

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements :

- remplacement des filtres à gazole ;
- remplacement des filtres à huile moteur ;
- remplacement des filtres à air ;
- prélèvement d'huile pour analyse et pré-analyse ;
- vidange de l'huile de moteur ;
- analyse de liquide de refroidissement ;
- contrôle des points signalés pour le 1er niveau ;
- graissage de tous les points en fonction de la périodicité ;
- contrôle des batteries.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres, joints, huile, liquide de refroidissement.

■ 3e niveau de maintenance

Il s'agit des opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécaniques ou électriques mineurs.
Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne :

- réglage des jeux de soupapes ;
- réglage des injecteurs ;
- contrôle endoscopique des cylindres ;
- contrôle des sécurités du moteur ;
- contrôle et réglage des protections électriques ;
- contrôle des refroidisseurs ;
- contrôle du démarreur ;
- remplacement d'un injecteur ;
- contrôle et réglage de la carburation ;
- contrôle et réglage de la régulation de puissance ;
- contrôle et révision de la pompe ;
- contrôle des turbocompresseurs ;
- remplacement d'une résistance de chauffage ;
- contrôle de l'embiellage ;
- contrôle de l'isolement électrique ;
- remplacement des sondes et capteurs ;
- remplacement d'une bobine de commande ;
- remplacement d'un disjoncteur.

Ces opérations sont réalisées par un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques tels que les appareils de mesure ou de calibrage.
Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4e niveau.

■ **4e niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement :

- déculassage (révision, rectification) ;
- révision de la cylindrée ;
- contrôle d'alignement du moteur/alternateur ;
- changement des pôles d'un disjoncteur HT.

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technique très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique. Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, réusinage).

■ **5e niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement.
Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé.
Le 5e niveau de maintenance est réservé au constructeur ou reconstructeur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

1.4.4 Maintenance préventive dite « de luxe »

Il faut éviter d'en faire trop et ce, non seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons techniques ; par exemple :

- remplacement systématique des roulements tous les ans ;
- vidange systématique des huiles hydrauliques sans prise en compte de capacités ;
- mesure vibratoire de toutes les machines tournantes sans exception.

Cette façon de pratiquer n'est pas seulement du gaspillage, mais entraîne des risques techniques. En effet, au cours de l'arrêt annuel, il peut se produire un mauvais montage quand il y a un grand nombre de roulements à remplacer.

1.5 Contrôles périodiques réglementaires

La gestion des contrôles périodiques des appareils soumis à la réglementation est généralement à la charge des services maintenance. La responsabilité directe d'un responsable maintenance est engagée pour tout accident consécutif à une défaillance d'un appareil soumis.
Pour ces contrôles, on s'adresse aux organismes agréés : Apave, Veritas, Securitas-Socotec, CEP…
Dans la pratique, on peut classer les matériels astreints à des visites périodiques obligatoires en catégories suivantes (voir aussi annexe) :

- les appareils de levage,
- les véhicules,
- les appareils à pression (gaz ou vapeur),

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

– les installations électriques,
– les radiosources,
– les machines dangereuses.

Les matériels de protection incendie sont en général sous la responsabilité de la sécurité.

1.5.1 Appareils de levage

Un registre doit être tenu à jour des vérifications obligatoires et de périodicité imposée. Ces vérifications peuvent être exécutées soit par le service interne dont le personnel est formé pour ce travail, soit par un organisme agréé.

■ Ascenseur et monte-charge

Les épreuves de réception doivent être fournies par l'installateur.
Visite annuelle : vérification générale de l'appareil.
Visite semestrielle : vérification des suspens.

■ Portiques et ponts roulants

L'épreuve initiale comporte :

– les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
– les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

L'épreuve est à renouveler après chaque modification.
Visite annuelle : contrôle général sous charge nominale.

■ Chariots élévateurs

L'épreuve initiale comporte :

– les essais statiques avec une surcharge de 33 %,
– les essais dynamiques avec une surcharge de 10 %.

Visite semestrielle : contrôle général.
Visite hebdomadaire : inspection de fonctionnement.

■ Grues automobiles

L'épreuve initiale comporte :

– les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
– les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

La ré-épreuve des grues de flèches à treillis doit se faire tous les six mois et celle des grues de flèches télescopiques tous les ans.

■ Palans

Pour les palans dont la charge est supérieure ou égale à 5 tonnes, l'épreuve comporte :

– les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
– les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

Visite annuelle : vérification générale de l'appareil.

■ **Élingues**

Elles sont considérées comme faisant partie de l'appareil de levage concerné. Les visites se font globalement pour l'ensemble. Les élingues hors d'usage doivent être détruites.

1.5.2 Véhicules

Sont concernés les véhicules destinés au transport en commun de capacité supérieure à 9 personnes et les véhicules immatriculés de poids total en charge supérieur à 3,5 tonnes.
Visite annuelle : contrôle de l'état des organes touchant à la sécurité.
Cette visite doit être effectuée par le service des Mines.
Les véhicules particuliers circulant sous la responsabilité de leur propriétaire subissent un contrôle technique dans un garage agréé tous les 4 ans.
Les véhicules transportant des récipients sous pression sont soumis à la législation des appareils à pression.

1.5.3 Appareils à pression

Les appareils à pression sont classés de la manière suivante :

- les générateurs : chaudières, compresseurs ;
- les récepteurs : ce sont les appareils qui reçoivent, transforment ou utilisent la vapeur ou le gaz sous pression ;
- les canalisations servant de liaison entre ces appareils.

Une autorisation initiale de mise en service exige un dossier comportant des documents à conserver :

- notes de calcul,
- certificat d'origine,
- procès-verbaux d'épreuves.

■ **Appareils de pression à gaz**

Les épreuves hydrauliques se font en surpression de 10 % à 50 % suivant les cas, sous le contrôle du service des Mines qui appose un poinçon.

■ **Appareils de pression à vapeur**

L'épreuve se fait à 12 bar si la pression nominale est de 6 bar ou à 1,5 fois la pression nominale si elle est supérieure à 6 bar.
La ré-épreuve de leur ensemble doit se faire tous les 10 ans à 1,3 fois le timbre (pression nominale).
Dans les deux cas, les visites périodiques sont de fréquences variables (de 12 à 18 mois).

1.5.4 Radiosources

Elles nécessitent une « autorisation de détention » délivrée par la CIREA (Commission interministérielle des radioéléments artificiels).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

La réglementation est fonction de la radiotoxicité exprimée en millicuries. Le contrôle de mise en service comprend la définition de la zone balisée (dose de 75 millirem/h à ne pas dépasser).
Le personnel en zone doit posséder la qualification DATR.

1.5.5 Machines dangereuses

Le Code de travail impose des cadences de visites des machines dangereuses.

- Presses à mouvement alternatif, à injecter et cisailles : visite trimestrielle par l'entreprise.
- Cuves, bassins, réservoirs contenant des fluides pouvant causer les brûlures thermiques ou chimiques : visite annuelle par l'entreprise.
- Essoreuses, centrifugeuses : visite annuelle (contrôle général, contrôle de niveau de vibrations, du panier, des crapaudines).
- Fours chauffés par un combustible : visites recommandées (contrôle des brûleurs, détecteurs de flammes, pressostats, alimentation d'air, évacuation de fumées...). La périodicité de visite est définie selon la technologie.
- Machines à bois, à cuir : visites trimestrielles recommandées.
- Outillages : machines électriques portatives de puissance supérieure à 750 W ; échelles portatives ; chalumeaux et leurs accessoires.

1.5.6 Installations électriques

Les installations électriques doivent être vérifiées lors de leur mise en service ou après avoir subi une modification de structure, puis périodiquement. Ces vérifications peuvent être effectuées par un organisme agréé ou par une personne appartenant ou non à l'établissement. Ces personnes doivent avoir des connaissances approfondies dans le domaine de la prévention des risques électriques ainsi que des dispositions réglementaires qui y sont afférentes. La liste nominative est à communiquer au directeur régional du travail de l'emploi ou au chef du service régional de l'inspection de travail.

■ Réseau Basse Tension

Visite annuelle : contrôle de tous les matériels pouvant être pris à la main.
Visite tous les 3 ans : contrôle général.

■ Réseau Haute Tension

Visite annuelle : contrôle général.

Remarque

Le matériel antidéflagrant utilisé en ambiance explosive est soumis à une réglementation spéciale ; l'utilisateur est responsable de réaliser la cartérisation pour la protection de l'ambiance.

1.5.7 Installations d'aération et assainissement des locaux

La réglementation s'applique aux locaux dans lesquels la pollution est liée à la présence humaine. Lors de la mise en service des systèmes d'aération et d'assai-

nissement, le dossier des valeurs de références doit comporter des indications sur :

- le débit global d'air neuf ;
- le débit minimal d'air neuf par local ;
- les pressions statiques ou vitesses d'air, en des points caractéristiques des installations, associées à ces débits ;
- les caractéristiques des filtres installés : classe d'efficacité, perte de charge initiale et maximale admise.

Vérification mensuelle : contrôle des paramètres de fonctionnement.
Visite annuelle : examen de l'état des installations.

1.6 Fiabilité et maintenance préventive

En terme de statistique, la fiabilité est une fonction du temps $R(t)$ qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.
En terme de qualité, on définit la fiabilité d'un matériel comme l'aptitude à maintenir la conformité à sa spécification d'origine.
On distingue :

- la *fiabilité intrinsèque*, qui est propre à un matériel, selon un environnement donné, et ne dépend que de la qualité de ce matériel ;
- la *fiabilité extrinsèque*, qui résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance. Elle est relative à l'intervention humaine.

1.6.1 Taux de défaillance

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est un estimateur de la fiabilité (exprimé en pannes par heure). Il est présenté par le rapport :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

Liée au problème de défaillance, la vie des équipements se présente en trois phases :

- *Phase de jeunesse* : $\lambda(t)$ décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections de montage.
- *Phase de maturité* : $\lambda(t)$ est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement.
- *Phase de vieillesse* : $\lambda(t)$ croît rapidement. C'est la période d'obsolescence, à dégradation accélérée. Souvent, on trouve une usure mécanique de la fatigue, une érosion ou une corrosion. À un certain point de $\lambda(t)$, le matériel est mort.

La détermination de seuil de réforme est obtenue à partir de critères technico-économiques. Une étude de déclassement sera à envisager.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Dans la première phase, on ne pratique que de la maintenance corrective. C'est seulement dans la seconde phase que la maintenance préventive est justifiée.
Le graphe représentant la variation de taux de défaillance, appelé « courbe en baignoire », possède trois allures différentes selon le matériel mécanique, matériel électrique ou matériel électronique (figure 1.2).

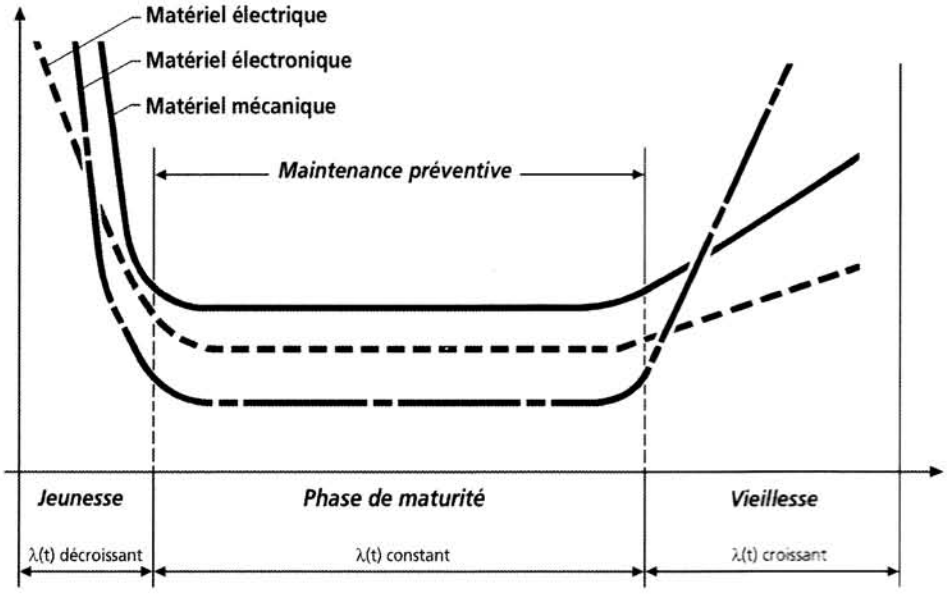


Figure 1.2 – Courbe en baignoire : taux de défaillance $\lambda(t)$.

1.6.2 MTBF

La MTBF, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives. Pour une période donnée de la vie d'un matériel :

$$\text{MTBF} = \frac{\sum_{0}^{n} \text{TBF}_i}{n}$$

Ces valeurs sont calculées à partir des observations, d'une exploitation statistique de l'historique, des essais de durée de vie.

1.6.3 Lois de fiabilité

■ Distribution exponentielle

Cette loi est applicable pour la période où le taux de défaillance est constant. Tous les matériels sont concernés durant leur vie utile.

La fiabilité ou la possibilité de survivre entre l'instant 0 et t est :

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t).dt} = e^{-\lambda(t)}$$

On démontre que l'espérance mathématique, qui représente le temps moyen entre deux défaillances, est égale à :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

■ **Loi de Weibull**

Contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre le cas où le taux de défaillance est variable et permet de s'ajuster aux périodes de jeunesse et de vieillesse.
L'expression de la fiabilité devient :

$$R(t) = e^{-\left[\frac{(t-\gamma)}{\eta}\right]^{\beta}}$$

avec ses trois paramètres β, paramètre de forme ($\beta > 0$), η, paramètre d'échelle ($\eta > 0$) et γ, paramètre de position ($-\infty < \gamma < +\infty$).
L'espérance mathématique est :

$$\text{MTBF} = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \cdot \eta + \gamma$$

1.6.4 Périodicité de la maintenance préventive

Par principe, la visite systématique est déclenchée juste avant l'apparition de la défaillance. La périodicité de visite est alors :

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

avec k le coefficient d'optimisation ou paramètre économique.
Plus on choisit k petit, moins il y a de maintenance corrective résiduelle. Mais si on intervient plus souvent, on augmente les coûts directs et le gaspillage. On devra définir une politique de maintenance et fixer le seuil de correctif résiduel entre 5 et 10 %.

1.7 TPM et maintenance préventive

1.7.1 Principe

La TPM (*Total Productive Maintenance*) est une philosophie de maintenance industrielle caractérisée particulièrement par l'auto-maintenance effectuée par les

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

opérateurs de fabrication. Le niveau technique de l'atelier et la technicité des opérateurs doivent progresser ensemble pour pouvoir améliorer le rendement du couple homme-machine.
Deux types d'activités principales que l'on doit mener parallèlement au sein d'une entreprise :

- Activités de maintenance :
  - exploitation correcte de l'installation,
  - maintenance préventive,
  - maintenance curative.
- Activités d'amélioration :
  - amélioration de la fiabilité,
  - amélioration de la maintenabilité,
  - prévention de la maintenance.

Ces activités ont les objectifs suivants :

- Activités de maintenance : réparer et supprimer les pannes.
- Activités d'amélioration :
  - prolonger la durée de vie du matériel,
  - diminuer le temps d'intervention,
  - optimiser la maintenance,
  - assurer la sécurité.

La TPM définit les activités de la fabrication de la manière suivante :

- Prévention des détériorations :
  - opérations correctes de l'exploitation,
  - préparation des conditions de base,
  - réglage,
  - enregistrement des pannes et anomalies,
  - collaboration avec la maintenance à la recherche des améliorations.
- Mesure de détériorations :
  - inspection quotidienne,
  - une partie des visites périodiques.
- Remise en état :
  - petits travaux d'entretien,
  - communication rapide lors de l'apparition d'une panne,
  - assistance à la réparation imprévue.

La TPM est basée sur la compréhension mutuelle et le partage des tâches de maintenance. Cela implique que les opérateurs soient intéressés à leur outil de travail. Il est évident que l'opérateur de machine est le mieux placé pour constater les conditions de l'apparition des pannes.
Un conducteur attentionné détecte les anomalies, les bruits anormaux pendant la conduite. Il réalise la maintenance de base sur sa voiture, par exemple le contrôle de niveau et le remplacement de l'huile, la surveillance de l'usure des plaquettes de frein.

Suivant le principe de la TPM, le plan de maintenance préventive tiendra compte aussi des opérations effectuées par les opérateurs.

1.7.2 Application

Pour qu'il soit possible de confier les tâches de maintenance préventive aux agents de production, il faut que ceux-ci soient capables de les réaliser :

- en termes de charge,
- en termes de compétence.

Pour pouvoir intégrer certaines opérations dans leur charge de travail, il faut que le temps de réalisation soit le plus court possible. Le travail proposé doit être simple, bien visible et bien accessible.
Pour cela, il faut étudier la possibilité de simplifier l'exécution ou de rendre le travail exécutable avec la machine en marche, par une modification mineure de l'installation (figure 1.3).

Exemple

Installation de tuyaux de lubrification ou d'une centrale de graissage pour que l'opération puisse se faire sans démontage du capot et pendant le fonctionnement.

Installation d'une alarme sonore ou visuelle pour avertir :

- de la limite d'usure des balais du moteur à courant continu ;
- du colmatage des filtres.

Installation d'un indicateur de surveillance maintenance sur le pupitre de commande opérateur :

- intensité du moteur critique ;
- pression du pot de barrage.

Il existe d'autres moyens de simplifier le travail. Les procédures écrites, les instructions techniques, les affichages permettent à la fois de simplifier le travail et de l'exécuter correctement.
Les instructions techniques sont élaborées non seulement pour les applications de la TPM, mais aussi pour servir le besoin des intervenants de maintenance.

Exemple

Instruction de graissage et de nettoyage.

Check-list de démarrage incluant des vérifications maintenance.

Manuel opérateur.

Enfin, toutes ces applications devront être complétées par la formation des agents.

1.8 Mise en place de la maintenance préventive

1.8.1 Démarche participative

La démarche de mise en place de la maintenance préventive est tout d'abord de faire participer les différents services aux travaux préliminaires pour pouvoir élaborer le plan de maintenance. C'est la constitution d'une structure de nomenclature du matériel de l'entreprise. Pour cette étape, les méthodes ont besoin de la

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

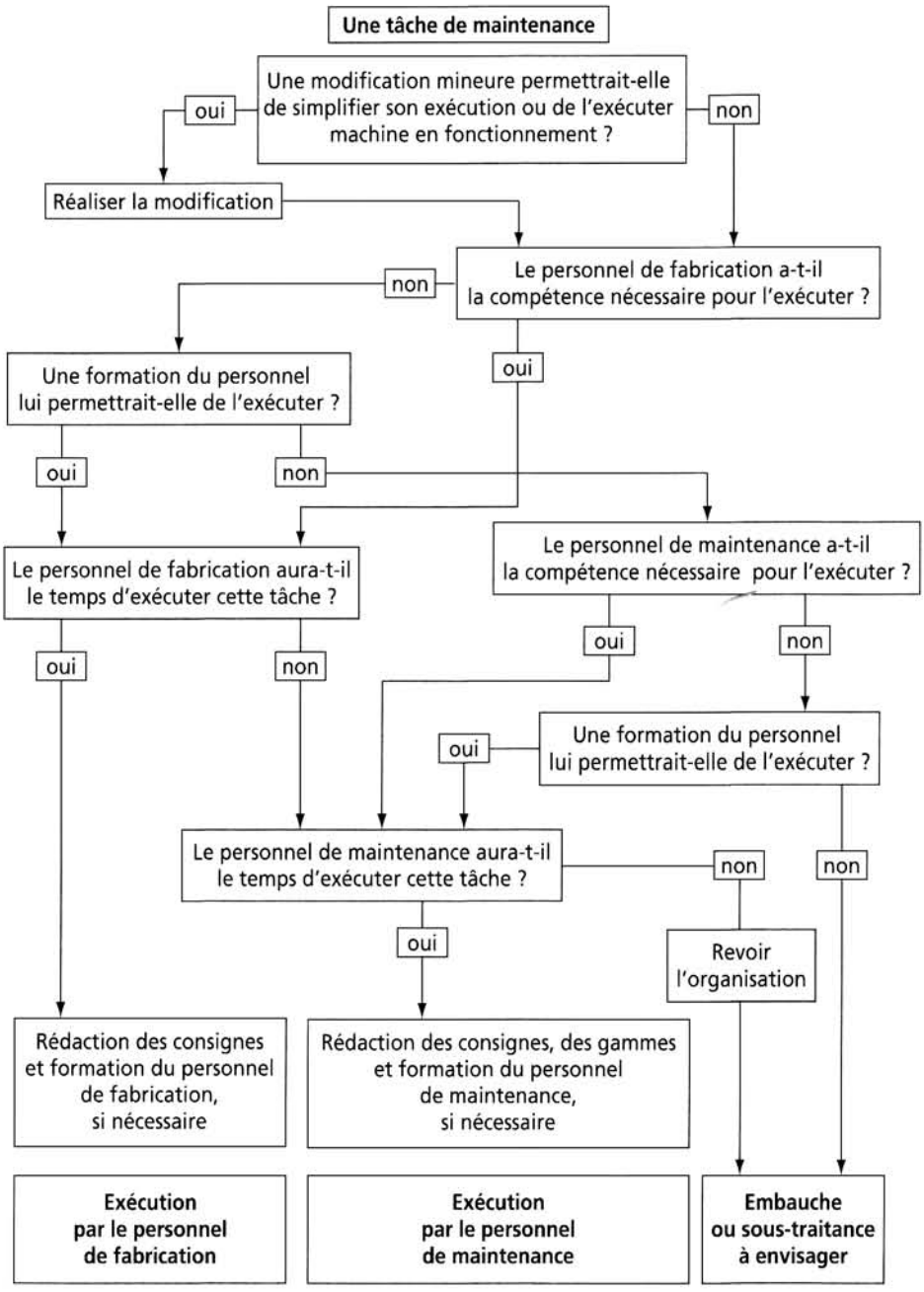


Figure 1.3 – Exemple d'une tâche de maintenance.

participation de la production, l'étude, la qualité, la comptabilité et la réalisation maintenance. Cette démarche participative a comme objectif d'adopter les vocabulaires et la forme de la structure qui sont convenables pour tous.

Dans la plupart des cas, il est difficile de faire participer tout le monde. Les méthodes peuvent commencer seules pour faire avancer les travaux et présenteront ce projet au cours d'une réunion de validation.
Après validation de la structure, les méthodes peuvent finir les niveaux techniques de la nomenclature, de préférence avec la participation des intervenants de maintenance. Les significations techniques de ces deux niveaux de nomenclature seront traitées dans le chapitre 2.
Il sera souhaitable d'avoir la collaboration de la production et de la réalisation maintenance pour les trois dernières étapes :

- le choix des machines à mettre sous préventif,
- l'élaboration du plan de maintenance,
- la planification des arrêts.

À chaque étape d'avancement, une réunion d'information sera nécessaire. Il faut que les intervenants de maintenance soient convaincus par la démarche et les objectifs.

1.8.2 Tableau de bord

Le tableau de bord caractérise l'état et l'évolution des matériels et du service maintenance. Il doit pouvoir mesurer l'efficacité de la politique de maintenance et justifier ainsi la mise en place de la maintenance préventive. Cet outil de synthèse est composé des éléments suivants :

- indicateur : valeur quantifiant une situation, un résultat ou un état ;
- ratio : indicateur relatif ou rapport d'une valeur réelle et d'une valeur de référence. Il est exprimé en pourcentage.

Le tableau de bord se présente sous plusieurs formes.

■ Graphes d'évolution

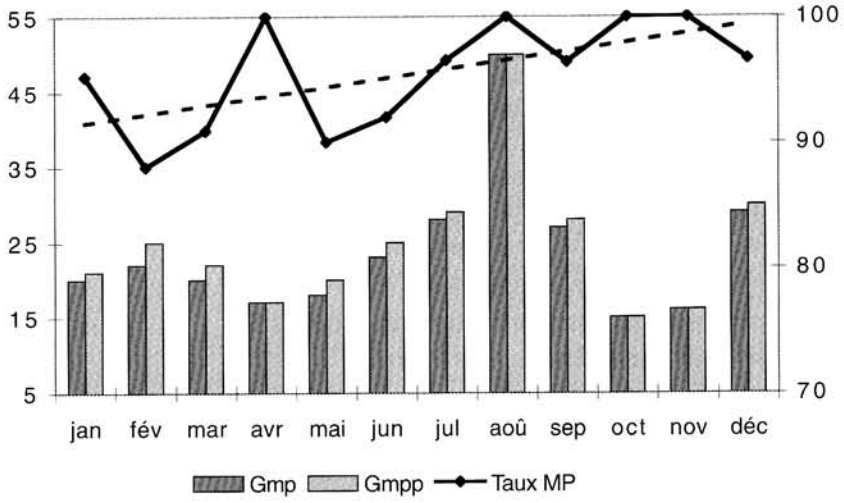
En fonction des intervalles de temps, les graphes peuvent être représentés par les histogrammes des valeurs réelles et des valeurs de référence, les courbes de ratio, de tendance et d'objectif (figure 1.4). Ces graphes permettent de visualiser les situations, observer les tendances, détecter les dérives afin d'entreprendre des actions correctives pour atteindre l'objectif fixé.

■ Graphe de répartition

Ce graphe est souvent utilisé pour les analyses (figure 1.5). Il peut être présenté par secteurs, par exemple, répartition des dépenses, répartition des temps, visualisations des causes...
Toute intervention ou toute activité d'un intervenant de maintenance fait l'objet d'un ordre de travail (OT). La valorisation de chaque OT et les analyses de gestion vont permettre :

- la répartition des activités en temps,
- la répartition des dépenses.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.



Gmp : gamme de maintenance préventive réalisée.
Gmpp : gamme de maintenance préventive programmée.
Taux MP : taux de réalisation maintenance préventive.

Figure 1.4 – Exemple de graphe d'évolution.

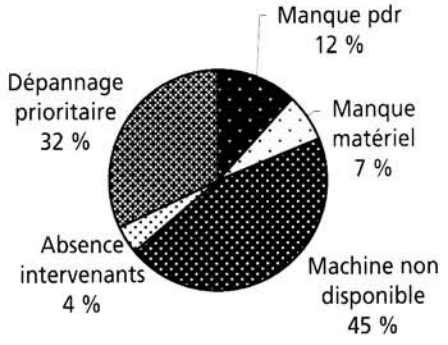


Figure 1.5 – Exemple de graphe de répartition.

L'intérêt commun entre la production et la maintenance est la productivité : moins de panne et plus de quantités produites. Une machine de production engendre alternativement des temps de bon fonctionnement (Tbf) et des temps d'arrêt (Ta) qui sont imputés soit à la fabrication (Taf), soit à la maintenance (Tam).

■ **Ratios économiques**

$$R1 = \frac{\text{Coûts de maintenance} + \text{Coûts d'indisponibilité}}{\text{Valeur ajoutée}}$$

Les coûts d'indisponibilité ou coûts de perte de production sont en général supérieurs aux coûts de maintenance. En premier lieu, il est préférable de chercher à les optimiser.

$$R2 = \frac{\text{Coût total de maintenance}}{\text{Valeur des actifs immobilisés à maintenir}}$$

Le ratio R2 demande une actualisation des valeurs actives immobilisées.

$$R3 = \frac{\text{Coût cumulé de maintenance depuis sa mise en service}}{\text{Nombre d'heures de fonctionnement depuis sa mise en service}}$$

L'évolution du ratio R3 dans le temps permet de suivre la rentabilité du matériel.

■ Ratios techniques

$$R4 = \frac{\text{Temps de réalisation de maintenance préventive}}{\text{Temps programmé pour maintenance préventive}}$$

Le ratio R4 ou taux de réalisation de maintenance préventive permet de connaître l'implication des services maintenance et production dans la politique de préventif, suivre la réalisation de la maintenance préventive et analyser les causes de non-respect du planning.
Les causes de non-respect du programme prévisionnel sont en général : manque des pièces de rechange, manque de matériel, machine non disponible, absence des intervenants, priorité au dépannage...

$$R5 = \frac{\text{Temps de maintenance préventive}}{\text{Temps total de maintenance}}$$

Le ratio R5 permet de mesurer la maîtrise de la politique de maintenance.

$$R6 = \frac{\text{Temps de maintenance corrective}}{\text{Temps total de maintenance}}$$

Le ratio R6 ou taux de maintenance corrective permet de suivre l'efficacité du plan de maintenance préventive. La maintenance préventive doit réduire la maintenance corrective et le nombre de défaillances et optimiser le temps de maintenance.

$$R7 = \frac{\text{Temps total de maintenance}}{\text{Temps total de fonctionnement}}$$

Le ratio R7 permet de mesurer l'efficacité du service maintenance s'il est calculé d'une manière globale. Il permet de vérifier l'évolution de comportement du bien matériel s'il est calculé pour une installation.
Pour une machine donnée, l'évolution des ratios R3 et R7 permet de décider d'une étude de rentabilité qui peut emmener à des actions d'amélioration ou de déclassement.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit

Remarques

Pour faciliter la mise en place des ratios R4, R5 et R6 : Nombre de gammes de maintenance préventive réalisées, Nombre de gammes de maintenance préventive programmées, Nombre des OT de maintenance préventive, Nombre des OT de maintenance corrective et Nombre total des OT peuvent être utilisés respectivement à la place de Temps de réalisation de maintenance préventive, Temps programmé pour la maintenance préventive, Temps de maintenance préventive, Temps de maintenance corrective et Temps total de maintenance.

1.8.3 Causes d'échec

Le premier service qui devra soutenir le projet de l'application de la maintenance préventive est la production.
Les causes probables emmenant à l'échec de la mise en place de la maintenance préventive sont les suivantes :

- La production ne sent pas le service rendu, n'accompagne pas la mise en place et ne libère pas la machine pour les interventions de maintenance préventive.
- Le plan de maintenance n'est pas bien adapté, c'est le « vouloir faire trop ».
- Les interventions sont très souvent ratées pour différentes raisons (problème de charge, machine non disponible...).
- Le manque de suivi ou l'absence de suite d'après les appréciations ou remarques rapportées par les intervenants.
- Le manque de compétence des intervenants.

1.8.4 Facteurs de réussite

■ Motivation

Il faut tout d'abord obtenir l'accord de la Direction et la convaincre de la nécessité de la maintenance préventive, puis s'assurer de la bonne entente entre la maintenance et la production, entre les méthodes et les intervenants. Cela implique une motivation générale.
Dans la pratique, l'aspect routinier du préventif rend celui-ci peu attractif pour les exécutants. Il est essentiel qu'ils soient informés de la démarche rigoureuse de la maintenance préventive.

■ Amélioration permanente

Il est difficile d'avoir un plan de maintenance qui soit parfait dès le départ. Les critiques et constatations des intervenants sont très utiles et bienvenues. Le suivi, la prise en compte des remarques, la vérification sur place et l'analyse des retours d'appréciations permettent d'améliorer le plan de maintenance. Cette adaptation est permanente car il se peut que l'installation se modifie, le plan de maintenance lui aussi doit être modifié convenablement. Un plan de maintenance doit vivre et évoluer avec le vieillissement de la machine.

■ Maîtrise des charges

Le besoin en terme de main-d'œuvre pour réaliser le plan de maintenance est traduit en charge. Une charge est la résultante de deux éléments : effectif et durée. L'unité

utilisée pour exprimer une charge est l'homme-heure. La planification permet d'étaler la charge globale de la maintenance préventive sur une année. Elle doit :

- assurer l'équilibre entre la charge de travail et la capacité de charge de la maintenance ;
- prendre en compte les aspects aléatoires des estimations de temps et les imprévus ;
- faciliter la distribution du travail.

Il est évident que le point fort de la planification est dans la bonne estimation du temps et la bonne définition de moyens humains. Mais il ne s'agit pas seulement que les travaux soient bien planifiés, il faut aussi que les travaux soient bien préparés pour que la planification ait du succès.

1.9 Maintenance préventive et sous-traitance

En principe, on ne fait appel à des entreprises de maintenance extérieures que :

- pour motif quantitatif, lorsque la charge d'une période assez courte est nettement supérieure à la capacité de maintenance, surtout pendant les travaux d'arrêt annuel qui comportent les grandes modifications, les nouvelles installations...
- pour motif qualitatif, lorsque certaines interventions nécessitent l'utilisation des outillages spécifiques coûteux et peu utilisés dont la rentabilité d'investissement n'est pas justifiée. Certains matériels de technologie nouvelle exigent des compétences particulières. Les techniciens du service après-vente constructeur sont souvent invités à assister aux interventions en qualité d'expert.

L'entreprise cherche à gagner en flexibilité, notamment dans les dépenses. Pour certaines entreprises, les charges de la maintenance sont en dents de scie, les équipes d'entretien sont parfois désœuvrées. Ce qui conduit ces entreprises à mettre en cause l'organisation interne du service maintenance.

La plupart des entreprises sous-traitent la maintenance des services généraux, dont les techniques sont spécifiques, tels que la chaufferie, la climatisation, la production du froid, la production de vapeur, la production d'air comprimé...

Par motivation stratégique, certaines entreprises confient même la maintenance des équipements de production à des entreprises sous-traitantes.

Or la sous-traitance de la maintenance industrielle n'est pas sans risque. Les techniciens tournent de site en site, ils peuvent ne pas être disponibles dans l'heure pour réparer une panne. Par ailleurs, si on confie la maintenance préventive dont les interventions sont programmables, l'entreprise prend le risque de perdre son savoir-faire au niveau du réglage des machines.

Sage précaution avant de déléguer la maintenance des équipements de production, représentant le métier de base, à des entreprises extérieures, il faut que certaines instructions techniques soient réalisées :

- procédures de réglage indiquant des valeurs de paramètres de fonctionnement ;
- procédures d'intervention ;
- gammes de maintenance.

Les personnels de la sous-traitance devront être accompagnés par le technicien de l'entreprise.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

2 • MISE EN ŒUVRE

La démarche technique pour la mise en place de la maintenance préventive demande :

- la disposition d'une nomenclature de matériel ;
- la connaissance du comportement du matériel : son engagement à la production, ses conditions d'utilisation ;
- la possession d'un historique ;
- la possession de documentations techniques.

La nomenclature est une énumération et une classification du matériel dont les objectifs sont :

- établir le fichier matériel : répertorier et énumérer le matériel ;
- permettre la création et le classement d'une documentation technique et historique du matériel ;
- servir d'outil de base à l'analyse technique des coûts de la maintenance ;
- servir de base à l'établissement du budget de maintenance et à la mise en place de la maintenance préventive.

La nomenclature doit se présenter d'une façon structurelle. D'où l'intérêt d'élaborer une arborescence du matériel.

2.1 Arborescences

2.1.1 Concepts d'arborescence

On distingue trois concepts pour élaborer une arborescence.

■ Concept production/maintenance

La vocation d'une entreprise est de produire, celle de la maintenance est de servir. On considère alors la fonction production comme principale. La structure de l'arborescence suit le processus de fabrication. Cette vision permet à la maintenance de se coordonner avec la production. Ce concept donne naissance à l'arborescence fonctionnelle.

■ Concept géographique

Ce concept s'applique pour les installations dispersées dans les zones géographiquement vastes.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ **Concept de catégorie technique**

Le bureau d'étude adopte ce concept pour classer les plans. Suivant le même principe, le magasin gère les articles par famille, la bibliothèque range les livres par domaine, les méthodes classent les documentations générales par famille de matériel. On construit de même une arborescence de famille.

2.1.2 Arborescence fonctionnelle

Elle est divisée en deux étapes :

- arborescence structurelle ou découpage fonctionnel,
- arborescence technologique ou décomposition fonctionnelle.

■ **Arborescence structurelle**

- Secteur : une usine se décompose en plusieurs secteurs correspondant aux différentes activités et aux centres de frais de la gestion comptable.
- Unité de production : un ensemble lié de machines caractérise la production en terme d'étape de fabrication ou de produit.
- Unité de maintenance : un ensemble d'installations, de machines assure une mission complète de la production dont l'usure ou la diminution de rendement est fonction d'un même paramètre. C'est le paramètre d'usure.

Dans la plupart des cas, le paramètre d'usure est remplacé par le paramètre d'usage dont l'unité choisie est celle qui caractérise le mieux l'utilisation : heure de marche, jour de fonctionnement, tonne de produits fabriqués…
On peut trouver différents termes pour définir la nomenclature de structure :

- secteur : zone ;
- unité de production : atelier, ligne ;
- unité de maintenance : chaîne de maintenance, équipement, machine.

La structure d'arborescence fonctionnelle est très utilisée dans une usine de type process continu. Le découpage se fait par étape de traitement ou de transformation de matière première. Pour une entreprise utilisant des machines isolées, les niveaux d'arborescence correspondent aux étapes de fabrication des éléments jusqu'à l'assemblage. Plusieurs machines simples, liées fonctionnellement, forment une unité de maintenance.
Dans certains cas, cette arborescence peut commencer au niveau supérieur ; par exemple, pour une entreprise sur plusieurs sites :

- société : compagnie ;
- site : unité.

Il est préférable que la structure de nomenclature et les termes utilisés soient adoptés par les différents services. Le service comptable peut ouvrir des comptes au niveau des secteurs ou des unités de production.

■ **Arborescence technologique**

Il est nécessaire d'avoir une connaissance parfaite de la machine sur laquelle on devra élaborer le plan de maintenance préventive. Le moyen d'avoir cette connais-

sance est de décomposer la machine (unité de maintenance) jusqu'au niveau organe. Il s'agit d'une décomposition fonctionnelle de l'unité de maintenance :

- unité fonctionnelle : un ensemble d'appareils ou d'organes qui participent à une fonction de l'unité de maintenance ;
- ensemble : en raison de la complexité du matériel, une fonction est décomposée en sous-fonctions ou en groupe d'éléments pour mieux connaître le matériel. Ce qui correspond à un ensemble ou sous-ensemble fonctionnel ;
- organes : ce sont des éléments qui composent un ensemble.

■ Paramètre d'usure et paramètre d'usage

Prenons un exemple simple : une voiture est conçue pour une mission bien définie qui est le déplacement avec sécurité et confort. Pour remplir cette mission, elle possède plusieurs fonctions : motorisation, freinage, essuie-glace...
L'usure des organes de la motorisation est fonction de la durée de la marche.
L'usure des organes de freinage est fonction du nombre de coups de freinage.
En effet dans une voiture, il y a plusieurs « paramètres d'usure », ce qui nous donne beaucoup de difficultés pour établir la fonction d'usure ou de défaillance.
Nous pouvons simplifier ce problème en disant que l'usure des organes d'une voiture est fonction de la quantité de déplacement qui caractérise la quantité d'usage de la voiture.
Dans la pratique, le paramètre d'usure d'une voiture est son « paramètre d'usage » dont l'unité est le kilométrage. Le programme de maintenance d'une voiture est défini en fonction de ce paramètre.

2.1.3 Arborescence géographique

La structure de l'arborescence se construit avec la notion de groupement géographique. Les niveaux sont variables selon la situation de l'entreprise :

- Site.
- Secteur.
- Zone.
- Quartier.
- Équipement.

On devra retrouver la notion de matériel au dernier niveau de la structure. En général, cette structure se termine par l'unité de maintenance dont la définition est la même que celle de la structure fonctionnelle. Et ce niveau peut être précédé par un niveau désignant la fonctionnalité de la production :

- Quartier.
- Unité de production.
- Unité de maintenance.

Enfin on peut revenir à la décomposition fonctionnelle pour terminer l'ensemble de cette arborescence.
Ce type d'arborescence est utilisé pour les installations dispersées dans des zones géographiquement vastes. Par exemple, les équipements miniers, hormis des

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit.

engins mobiles, sont groupés par zone géographique. Les tournées de maintenance sont organisées par zone.

2.1.4 Arborescence de famille

Partant du principe du groupement technique des équipements, cette arborescence prend une logique habituelle de recherche des pièces de rechange des techniciens.

- Famille : pompes.
- Catégorie : pompes centrifuges, pompes volumétriques à piston, pompes volumétriques à membrane, pompe à vide...
- Constructeur :
- Type :

On trouve d'autres familles (par exemple, électrique, mécanique, instrumentations, etc.).

Certaines entreprises n'ayant que des machines isolées utilisent ce type d'arborescence. Il est important de savoir que plusieurs machines isolées, dont le fonctionnement est complètement lié, forment une ligne de fabrication ou de produit.

2.1.5 Liaison entre les arborescences

Dans la pratique, les trois arborescences de structure se rejoignent à l'arborescence technologique ou décomposition fonctionnelle (figure 2.1).

Certains logiciels de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) offrent la possibilité de créer en même temps les trois arborescences. Les liens entre elles permettent l'accès à un équipement en cheminant par l'une des arborescences dont la logique appartient aux chercheurs d'informations.

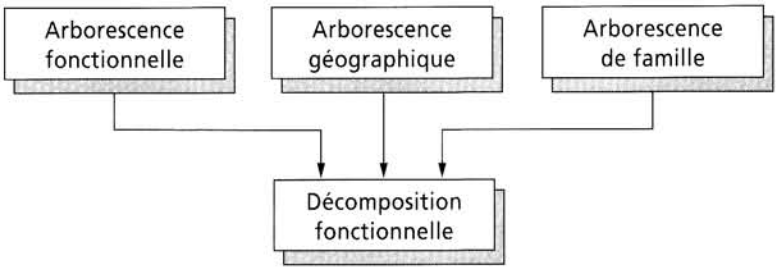


Figure 2.1 – Liaison entre les arborescences.

2.1.6 Exemples de réalisation de nomenclature

Les figures 2.2 à 2.5 donnent respectivement des exemples de réalisation de nomenclature.

01	Matière première	07	Fardeau	13	Climatisation
02	Trituration	08	Rétention	14	Chauffage
03	Secteur A	09	Utilités	15	Éclairage
04	Secteur B	10	Magasinage	16	Matériel bureau
05	Secteur C	11	Atelier maintenance	17	Transport
06	Secteur D	12	Protection incendie	18	Bâtiments
				19	Voirie

Figure 2.2 – Définition des secteurs.

JH2m		**Nomenclature usine**					
Secteur		**Unité de production**		**Unité de maintenance**		**Unité fonctionnelle**	
03	Secteur A	01	Ligne 1	01	Zone humide	01	Cuvier pâte
						02	Régulateur de concentration
						03	Alimentation pâte limpide
						04	Retour pâte
						05	Filtration eau de rinçage
				02	Production de vide	01	Groupe vide
				03	Moulage 1	01	Machine à mouler
				04	Séchoir 1	01	Convoyeur à grille
						02	Tunnel
						03	Générateur air chaud
				05	Sortie machine 1	01	Convoyeur sortie tunnel
				06	Remise en forme	01	Convoyeur
						02	Humidificateur
						03	Presse
				07	Étiquetage	01	Étiqueteuse poste 1
						02	Étiqueteuse poste 2
						03	Convoyeur
				08	Commande ligne 1	01	Armoire machine 1

Figure 2.3 – Découpage fonctionnel.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

JH2m	Nomenclature usine					
Secteur	Unité de production		Unité de maintenance		Unité fonctionnelle	
	02	Ligne 2	01	Zone humide		Idem Ligne 1
			02	Production de vide		
			03	Moulage 2		
			04	Séchoir 2		
			05	Sortie machine 2		
			06	Remise en forme		
			07	Étiquetage		
			08	Commande ligne 2		
	03	Conditionnement	01	Convoyeur	01	Tapis à palette
			02	Fardeleuse 1/2	01	Alimentation
					02	Fardeleuse
					03	Rétraction
			03	Palettisation	01	Tapis d'alimentation
					02	Palettiseur
					03	Évacuation palettes
	04	Recyclage	01	Convoyeur à casse		
Réalisé par J. HENG le 11/02/1999			Indice : A		Mise à jour le :	Folio :

Figure 2.3 (suite) – Découpage fonctionnel.

JH2m	Décomposition fonctionnelle				
			Secteur :	Secteur A	
			Unité de production :	Conditionnement	
			Unité de maintenance :	Fardeleuse 1/2	
Unité fonctionnelle		Ensemble		Organe	
01	Alimentation	01	Table élévatrice	01	Table
				02	Vérin de montée-descente
				03	Chaîne de table
				04	Pignon
				05	Tiges de guidage (2)

Figure 2.4 – Décomposition fonctionnelle.

JH2m		Décomposition fonctionnelle			
			Secteur :	Secteur A	
			Unité de production :	Conditionnement	
			Unité de maintenance :	Fardeleuse 1/2	
Unité fonctionnelle		**Ensemble**		**Organe**	
				06	Paliers (6)
				07	Capteurs
				08	Contrepoids
				09	Chaîne d'équilibrage
				10	Bras de centrage
				11	Vérins de centrage
				12	Chaînes de centrage
		02	Introduction	01	Vérin d'introduction
				02	Tige de guidage
				03	Paliers
				04	Glissières
				05	Galets
				06	Ensemble FRL
				07	Distributeurs
02	Fardelage	01	Déroulement film supérieur	01	Moto-réducteur
				02	Chaîne d'entraînement
				03	Pignons
				04	Rouleau d'entraînement film
				05	Rouleau de défilement film
				06	Balancier
				07	Rouleau porte-bobine
		02	Déroulement film inférieur		Idem Déroulement film supérieur
		03	Barre de soudage	01	Guidage linéaire
				02	Vérin de soudage
				03	Barre de soudage
				04	Mâchoires

Figure 2.4 (suite) – Décomposition fonctionnelle.

JH2m		Décomposition fonctionnelle			
			Secteur :	Secteur A	
			Unité de production :	Conditionnement	
			Unité de maintenance :	Fardeleuse 1/2	
Unité fonctionnelle		**Ensemble**		**Organe**	
				05	Barre d'appui
				06	Protection mobile
				07	Guidage d'ouverture de protection
				08	Dispositif de nettoyage
		04	Butée de passage	01	Guide linéaire
				02	Vérin butée mobile
		05	Retenue de paquet	01	Guidage linéaire
				02	Vérin de retenue
		06	Tapis de liaison	01	Moto-réducteur
				02	Chaîne d'entraînement
				03	Pignons
				04	Rouleau d'entraînement
				05	Rouleau tendeur
				06	Rouleau de renvoi
				07	Tapis
		07	Armoire fardeleuse	01	Automate
				02	Variateur
				03	Régulateur température barre de soudage
03	Rétraction	01	Guidage film	01	Tôles
				02	Pignons (4)
				03	Chaînes
				04	Paliers
				05	Pistolets soufflants (2)
		02	Convoyeur métallique	01	Plateau
				02	Tapis métallique
				03	Rouleau d'entraînement
				04	Rouleau de renvoi

Figure 2.4 (suite) – Décomposition fonctionnelle.

JH2m	Décomposition fonctionnelle			
		Secteur :	Secteur A	
		Unité de production :	Conditionnement	
		Unité de maintenance :	Fardeleuse 1/2	
Unité fonctionnelle		Ensemble		Organe
				05 Moto-réducteur
				06 Chaîne d'entraînement
				07 Pignons
				08 Chaîne tapis
				09 Guide chaîne
				10 Guide inférieur tapis
				11 Ventilateur refroidissement tapis
		03 Tunnel four		01 Ventilateur de circulation air chaud
				02 Résistances électriques
				03 Cellules contrôle de bourrage
		04 Armoire tunnel		01 Régulation de chauffe
				02 Régulation vitesse de tapis
Réalisé par J. HENG le 11/02/1999		Indice : A	Mise à jour le :	Folio :

Figure 2.4 (suite) – Décomposition fonctionnelle.

2.1.7 Codification

La codification peut être numérique ou alphanumérique. Elle suit les différents niveaux de l'arborescence de structure jusqu'au niveau technologique.
Dans certains cas, on introduit astucieusement le nom du constructeur dans la « codification » et on notifie le nom fonctionnel comme « désignation ». Cette façon offre un critère de recherche informatique correspondant à la forme de recherche habituelle des techniciens.

Exemple (BOYER comme Boyer et PRECI comme Precimeca) :

- TRSP : Transporteur
  - TRSP_BAND : Transporteur à bande
    - TRSP_ BAND_ 800 : Transporteur à bande 800
      - BOYER_T1 : Transporteur minerai T1
        - 70820002 : BANDE + 500 + LAR800 + TEXTILE
      - PRECI_TS2 : Transporteur stérile TS2
        - 70820002 : BANDE +500 + LAR800 + TEXTILE

Usine : Exploitation de minerais								
	Secteur							
		Zone						
			Équipement					
				Unité fonctionnelle				
					Ensemble			
						Organe		
Codification							Désignation	Imputation comptable
	M	00	00	00	00	00	Extraction de minerais	2100.0000
	M	01					Quartier Q01	
	M	01	01				Alimentation électrique	
	M	01	02				Ventilation secondaire	
	M	01	03				Exhaure	
	M	01	04				Convoyage	
	M	01	04	01			Transporteur TM031	
	M	05					Quartier central	
	M	05	01				Broyage	
	M	05	01	01			Trémie de réception	
	M	05	01	02			Broyeur	
	M	05	02				Convoyage central	
	M	05	02	01			Transporteur TM01	
	M	05	02	02			Déferrailleur	
	M	06					Ventilation zone Akouta	
	M	06	01				Ventilation quartier central	
	M	06	02				Ventilation quartier Q01	
	M	06	03				Ventilation quartier Q02	
	M	06	04				Ventilation quartier Q03	
	M	07					Ventilation zone Akoula	
	M	07	01				Ventilation quartier Q04	
	M	07	02				Ventilation quartier Q05	
	M	07	03				Ventilation quartier Q06	
	M	07	03	01			Ventilation trou n° 60	
	M	07	03	01	01		Caisson	
	M	07	03	01	02		Ventilateur VM4201	
	M	07	03	01	02	01	Moteur	
	M	07	03	01	02	02	Ventilateur	

Figure 2.5 – Exemple d'arborescence géographique.

Usine : Exploitation de minerais								
	Secteur							
		Atelier						
			Unité de maintenance					
				Unité fonctionnelle				
					Ensemble			
						Organe		
Codification							Désignation	Imputation comptable
	T	00	00	00	00	00	Traitement de minerais	2000.0000
	T	BR	00	00	00	00	Broyage	2000.0001
	T	BR	01	00	00	00	Alimentation	
	T	BR	01	01	00	00	Trémie	
	T	BR	01	02	00	00	Extraction	
	T	BR	01	03	00	00	Transport	
	T	BR	02	00	00	00	Broyage	
	T	BR	02	01	00	00	Broyeur	
	T	BR	02	02	00	00	Motorisation broyeur	
	T	BR	02	02	01	00	Moto-réducteur	
	T	BR	02	02	01	01	Moteur	
	T	BR	02	02	01	02	Réducteur	
	T	BR	02	02	01	03	Ventilateur	
	T	BR	02	02	01	04	Accouplement GV	
	T	BR	02	02	01	05	Accouplement PV	
	T	BR	02	02	02	00	Transmission	
	T	BR	02	02	02	01	Pignon d'attaque	
	T	BR	02	02	02	02	Couronne	
	T	BR	02	02	03	00	Démarrage	
	T	BR	02	02	03	01	Démarreur	
	T	BR	03	00	00	00	Génération air chaud	
	T	BR	03	01	00	00	Combustion	
	T	BR	03	01	01	00	Stockage gas-oil	
	T	BR	03	01	01	01	Cuve de gas-oil	

Figure 2.6 – Exemple d'arborescence fonctionnelle.

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit

Usine : Exploitation de minerais							
	Secteur						
		Atelier					
			Unité de maintenance				
				Unité fonctionnelle			
					Ensemble		
						Organe	
Codification							Désignation	Imputation comptable
	T	BR	03	01	02	00	Pompage gas-oil	
	T	BR	03	01	02	01	Pompe MP1041 A	
	T	BR	03	01	02	02	Pompe MP1041 B	
	T	BR	03	01	03	00	Ventilation de combustion	
	T	BR	03	01	03	01	Ventilateur MB042	
	T	BR	03	01	04	00	Foyer de combustion	
	T	BR	03	01	04	01	Foyer	
	T	BR	03	01	04	02	Brûleur	
	T	BR	03	02	00	00	Dilution	
	T	BR	03	03	00	00	Automatisme/Régulation	
	T	AT	00	00	00	00	Attaque	2000.0002
	T	FI	00	00	00	00	Filtration	2000.0003
	T	FN	00	00	00	00	Finition	2000.0004

Figure 2.6 (suite) – Exemple d'arborescence fonctionnelle.

Usine : Exploitation de minerais								
	Secteur							
		Famille						
			Constructeur					
				Type				
					Ensemble			
						Organe		
Codification							Désignation	Imputation comptable
	G	00	00	00	00	00	Engins de fond	
	G	CT					Chargeur transporteur	
	G	CT	ME				Mécanique de l'Est	
	G	CT	ME	01			CT1200	
	G	CT	ME	01	01		Alimentation freinage	
	G	CT	ME	01	01	01	Pompe de freinage	
	G	CT	ME	01	01	02	Réservoir hydraulique	
	G	CT	ME	01	01	03	Accumulateur avant	
	G	CT	ME	01	01	04	Accumulateur arrière	
	G	CT	ME	01	02		Frein de parking	
	G	CT	ME	01	02	01	Accumulateur de parking	
	G	CT	ME	01	02	02	Disque de frein	
	G	CT	ME	01	02	03	Garniture de frein	
	G	CT	ME	01	03		Frein de route	
	G	CT	ME	01	03	01	Pédale de frein	
	G	CT	ME	01	03	02	LCB avant droite	
	G	CT	ME	01	03	03	LCB avant gauche	
	G	CT	ME	01	03	04	LCB arrière droite	
	G	CT	ME	01	03	05	LCB arrière gauche	
	G	CT	ME	01	03	06	Filtre retour LCB	

Figure 2.7 – Exemple d'arborescence de famille.

Secteur								
	Famille							
		Catégorie						
			Constructeur					
				Type				
					Ensemble			
						Organe		
Codification							Désignation	Imputation comptable
FB							Fabrication	
FB	BR						Brocheuses	
FB	BR	HZ					Brocheuses horizontales	
FB	BR	HZ	LPT				Lapointe	
FB	BR	HZ	LPT	01			250	
FB	BR	HZ	LPT	02			360	
FB	BR	VT	LPT				Brocheuse verticale	
FB	BR	VT	HFM				Hoffmann	
MT							Montage	

Figure 2.8 – Exemple d'arborescence de famille d'une usine mécanique.

2.2 Historique machine

L'historique est inscrit dans le « carnet de santé » de la machine, qui décrit chronologiquement toutes les interventions correctives, les modifications depuis sa mise en service.
Pour faciliter l'exploitation, on définit des codes (figure 2.9).
Un agent des méthodes tient à jour l'historique en exploitant les informations trouvées dans les OT/BT et les rapports d'intervention (figure 2.10).

2.3 Sélectivité

Cette phase d'analyse est menée conjointement par la maintenance et la production. Elle classe les machines selon les différents critères propres à l'entreprise afin de définir une politique de maintenance.

Natures des travaux		
DP : réparation, dépannage	AM : amélioration maintenance	EP : entretien préventif
AP : amélioration production	EX : entretien exceptionnel	AS : amélioration hygiène et sécurité
TN : travaux neufs		
Causes des défaillances		
U : usure	A : accident imprévu	N : défaut de nettoyage
O : corrosion	M : défaut d'entretien	L : mauvaise lubrification
F : fatigue	D : mauvaise conduite	R : mauvais réglage
S : surcharge	C : défaut de conception	
Nature des défaillances		
M : origine mécanique	I : origine électronique	P : origine pneumatique
E : origine électrique	H : origine hydraulique	

Figure 2.9 – Codes.

Date	Compteur machine	n° OT	Description de l'intervention	Nature des travaux	Durée		Code défaillance	
					Intervention	Arrêt	Cause	Nature

Figure 2.10 – Exemple d'historique machine.

2.3.1 Critères de production

Ces critères sont issus de la compétence des services de production.

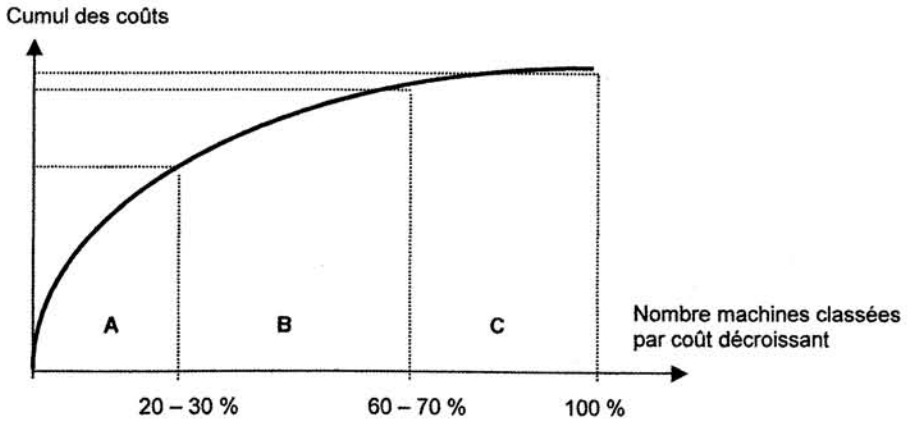
- A : matériels dont l'arrêt entraîne l'arrêt total de production.
- B : matériels dont l'arrêt entraîne un ralentissement de production ou une dégradation de la qualité.
- C : matériels pour lesquels la production a des solutions de rechange et dont l'arrêt perturbe peu.
- D : matériels à ne pas suivre en maintenance préventive.

Avec ce type de classement, on sait quelles sont les machines à prendre en considération dans le projet d'élaboration des plans de maintenance.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

2.3.2 Sélectivité sur coût global

À partir du tableau de bord en termes de coût global par installation (coûts directs + coûts indirects), on réalise un classement ABC (figure 2.11).



(A) Maintenance préventive sur défaillances probables et peu probables.
(B) Maintenance préventive sur défaillances probables.
(C) Pas de maintenance préventive.

Figure 2.11 – Sélectivité sur coût global.

2.3.3 Tableau de criticité multiple

■ **Critère intrinsèque du matériel**

1. Complexité technologique
- simple : 0
- complexe : 1
- très complexe : 2

■ **Critère d'exploitation**

2. Importance de l'équipement dans le processus de production
- secondaire : 0
- principal : 1
- vital : 2

3. Engagement (taux de marche)
- épisodique : 0
- intermittent : 1
- continu : 2

■ **Critère de maintenance**

4. Coûts directs de maintenance
- faibles : 0

- moyens : 1
- élevés : 2

■ **Critère économique**

5. Valeur de remplacement à l'identique
- peu coûteux : 0
- coûteux : 1
- très coûteux : 2

6. Coûts indirects (pertes de production)
- faibles : 0
- moyens : 1
- élevés : 2

On affecte à chaque critère un coefficient de pondération en fonction du contexte de l'entreprise (figure 2.12).

Critère	Matériel X			
	Valeur estimée	Coefficient	Points estimés	Points maxi
1	0	2	0	4
2	1	3	3	6
3	1	1	1	2
4	0	1	0	2
5	1	1	1	2
6	1	2	2	4
		Totaux	7	20

Figure 2.12 – Criticité multiple. Indice de criticité (total des points estimés) : $0 \leq i \leq 10$

- Indice entre 15 et 20 : ensemble du dispositif de prévention permanente et de maintenance préventive + documentation technique élaborée.
- Indice entre 10 et 15 : prévention permanente + documentation technique allégée.
- Indice entre 0 et 10 : maintenance curative essentiellement.

2.3.4 Abaques de M. Noiret

C'est une méthode utilisant 10 abaques et dont la lecture se fait dans l'ordre consécutif (figure 2.13).

1. Abaque ÂGE DU MATÉRIEL
2. Abaque INTERDÉPENDANCE DU MATÉRIEL
   a : Matériel doublé
   b : Matériel indépendant
   c : Matériel avec tampon aval ou amont
   d : Matériel sans tampon
   e : Matériel important à marche discontinue
   f : Matériel important à marche semi-continue
   g : Matériel important à marche continue
3. Abaque COMPLEXITÉ DU MATÉRIEL
   a : Matériel peu complexe et accessible
   b : Matériel très complexe et accessible
   c : Matériel complexe et peu accessible
   d : Matériel très complexe et peu accessible
4. Abaque COÛT DU MATÉRIEL
   a : Matériel bon marché
   b : Matériel peu coûteux
   c : Matériel coûteux
   d : Matériel très coûteux
   e : Matériel spécial
   f : Matériel très spécial
5. Abaque ORIGINE DU MATÉRIEL
   a : Matériel du pays – grande série
   b : Matériel du pays – petite série
   c : Matériel étranger avec service après vente
   d : Matériel étranger sans service après vente
   e : Matériel étranger sans service technique
6. Abaque ROBUSTESSE DU MATÉRIEL
   a : Matériel très robuste
   b : Matériel courant
   c : Matériel de précision robuste
   d : Matériel peu robuste
   e : Matériel en surcharge
   f : Matériel de précision – maniement délicat
7. Abaque CONDITIONS DE TRAVAIL
   a : Marche à un poste
   b : Marche à deux postes
   c : Marche à trois postes
8. Abaque PERTE DE PRODUIT
   a : Produits vendables – suite d'une défaillance matérielle
   b : Produits à reprendre – suite d'une défaillance matérielle
   c : Produits perdus – suite d'une défaillance matérielle
9. Abaque DÉLAI D'EXÉCUTION
   a : Délais libres – fabrication sur stock
   b : Délais serrés
   c : Délais impératifs – pénalité de retard
   d : Délais impératifs – produits non vendus – perte clientèle
10. Abaque CHOIX DE TYPE DE MAINTENANCE
    Zone Maintenance corrective obligatoire ou souhaitable
    Zone Incertitude
    Zone Maintenance préventive souhaitable ou obligatoire

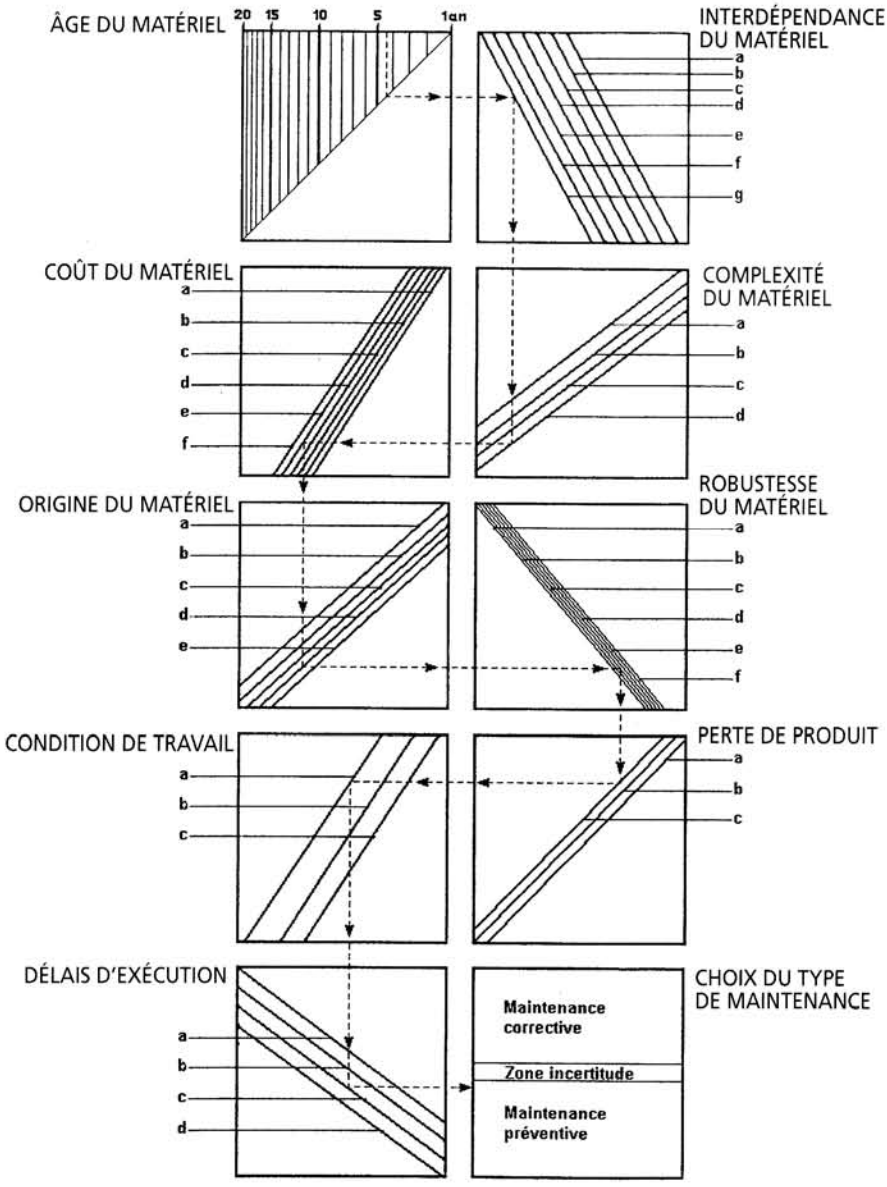


Figure 2.13 – Abaque de Noiret.

2.3.5 Étude de déclassement des matériels

Certaines machines, en vieillissant, entraînent beaucoup de pannes provenant de l'usure générale ou de la limite de durée de vie des composants. Malgré les tentations de fiabilisation, les arrêts pour entretien sont très fréquents. La machine atteint son âge de vieillesse.

Le coût global de possession est un élément efficace d'aide à la décision en politique de maintenance. En prenant en compte les différents stades de l'évolution de produit, le coût de possession englobe tous les coûts directs et indirects qui sont les coûts de conception, de développement, de production, d'exploitation, de maintenance et de mise hors service.

Plus précisément, on décompose les soutiens logistiques pour l'exploitation et la maintenance à partir des éléments suivants :

- le coût d'investissement (y compris les charges financières en cas d'emprunt) ;
- les dépenses réelles pour l'utilisation du matériel :
  - les coûts de fonctionnement ;
  - les coûts de maintenance : coût des interventions correctives ou préventives, coût des sous-traitants, coût de remise en état, coût des approvisionnements et de gestion associée, coûts indirects (téléphone, locaux) ;
  - les coûts d'aide à la maintenance ;
  - les coûts de défaillance.

Dans le cadre de la comptabilité analytique, on peut saisir les différents coûts et calculer les cumuls des dépenses et des recettes du service rendu. On trace en fonction du temps de fonctionnement, les courbes représentant ces deux composantes (figure 2.14).

La droite des recettes cumulées coupe la courbe des dépenses cumulées en deux points a et b. Ces deux points délimitent la durée du service en trois zones :

- zone A : la rentabilité de l'équipement n'est pas encore réalisée ;
- zone B : la rentabilité de l'équipement est réalisée. On a des recettes supérieures aux dépenses ;

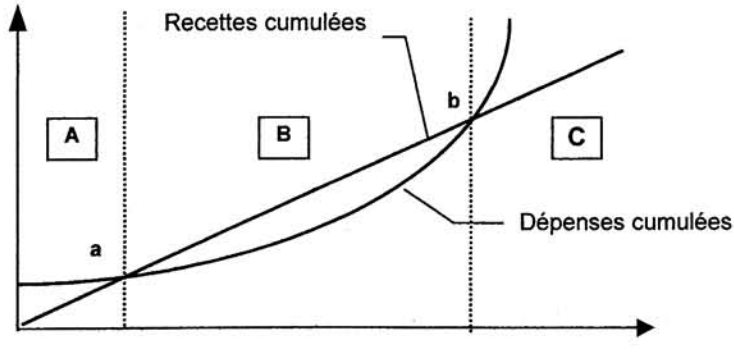


Figure 2.14 – Recettes et dépenses cumulées.

– zone C : l'exploitation devient non rentable.

D'une manière globale, la proposition de remplacement sera justifiée lorsque les frais de maintenance seront jugés prohibitifs, lorsqu'il vaut mieux accéder à une nouvelle technologie ou lorsqu'il devient difficile de renouveler les pièces d'usure.

2.4 Élaboration d'un plan de maintenance préventive

L'élaboration d'un plan de maintenance se fait au niveau d'une unité de maintenance.

Élaborer un plan de maintenance préventive, c'est décrire toutes les opérations de maintenance préventive qui devront être effectuées sur chaque organe. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant tous les organes de la décomposition fonctionnelle et en tenant compte de leur technologie, de leur environnement (sec, humide, poussiéreux, chaud, non couvert, etc.), de leur utilisation, de leur probabilité de défaillance et de leur impact sur la production et sur la sécurité (humaine et matérielle).

L'affectation des opérations de visite ou de contrôle a comme objectif de détecter les effets des dysfonctionnements qui peuvent arriver sur chacun de ces organes. Il faut donc avoir connaissance de la nature, de la gravité et de la probabilité d'apparition des défaillances.

Pour chaque organe, lors de l'affection des opérations et de la définition des périodicités, on se pose la question « Est-ce nécessaire et suffisant ? » afin de conforter la réflexion.

Lorsque la fréquence des contrôles est élevée, en raison de la probabilité importante de l'apparition de défaillances, on devra tenter de trouver la solution pour éliminer complètement ce dysfonctionnement.

Exemple

Il n'est pas normal de devoir contrôler le serrage des fixations d'une came toutes les semaines. Dans ce cas, il faut chercher à savoir pourquoi les fixations se desserrent très souvent.

Le système en question est-il adapté ?

Les différentes sources qui nous aident à définir les opérations de maintenance préventive sont :

- les documents techniques constructeurs ;
- l'expérience de chacun (dépanneurs et conducteurs de machine) et du rédacteur ;
- les historiques de la machine concernée et éventuellement celles des machines de même type ;
- les recommandations des constructeurs ;
- la base de données des organes très courants (standard de maintenance préventive) ;
- les valeurs MTBF ;
- les conditions d'utilisation (taux d'engagement, environnement...).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

2.4.1 Documents techniques constructeurs

Les documents constructeurs permettent de connaître d'une manière approfondie la machine à étudier. En général, on peut trouver les renseignements suivants :

- pièces d'usure, pièces de rechange ;
- types et références des articles ;
- type de lubrifiant, produits consommables ;
- paramètres de surveillance, de réglage ;
- modes opératoires de maintenance ;
- précautions particulières ;
- consignes particulières de sécurité.

2.4.2 Recommandations constructeurs

Les recommandations des constructeurs sont souvent à caractère général. Il faut les adapter aux conditions réelles d'utilisation. Les données proposées, très importantes, doivent servir de base de référence particulière pour la machine concernée.

2.4.3 Conditions d'exploitation

■ Taux d'engagement

- Posté 3/8, 24 heures/24
- Matériel de secours
- Matériel doublé ou triplé

■ Ambiance

- Propre
- Sec
- Huileux, gazeux
- Poussiéreux
- Humide
- Sous projection liquide
- Très chaud
- Très froid
- En dehors, sans abri
- Immergé
- Corrosive (acide, air salin...)

■ Mode de fonctionnement

- Marche en continu
- Arrêt ou démarrage fréquent

2.4.4 Analyse historique

On recherche dans l'historique d'une installation la nature et la fréquence d'apparition des défaillances, la fréquence de remplacement, afin :

- de trouver les moyens pour détecter les défaillances avant leur apparition ;

- de déduire la périodicité des opérations de contrôle ;
- de calculer la fréquence de remplacement systématique.

On fait la distinction entre les défaillances répétitives et les défaillances accidentelles, entre les défaillances catalectiques et les défaillances de dérive.
Les historiques de machines semblables peuvent être réunis pour une exploitation unique.

2.4.5 Expériences professionnelles

En général, le document historique est souvent insuffisant ou inexistant. Les avis des dépanneurs et des conducteurs de machine sont très intéressants. Chacun possède des petites notes personnelles. C'est le moment de faire les échanges de connaissance.

2.4.6 Analyse AMDEC

Dans le cas des organes spécifiques et mal connus, on doit faire une analyse de type AMDEC (analyse des modes de défaillances et de leur criticité) en utilisant la matrice à trois criticités suivante (figure 2.15).

Gravité G : Impact des défaillances sur le produit ou l'outil de production			
1	Sans dommage : défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production, et aucune dégradation notable du matériel	3	Important : défaillance provoquant un arrêt significatif, et nécessitant une intervention importante
2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de production, et nécessitant une petite intervention	4	Catastrophique : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes graves
Fréquence d'occurrence O : Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance			
1	Exceptionnelle : la possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante	3	Certaine : il y a eu traditionnellement des défaillances dans le passé
2	Rare : une défaillance occasionnelle s'est déjà produite ou pourrait se produire	4	Très fréquente : il est presque certain que la défaillance se produira souvent
Non-détection D : Probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance			
1	Signes avant-coureurs : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance	3	Aucun signe : la recherche de la défaillance n'est pas facile
2	Peu de signes : la défaillance est décelable avec une certaine recherche	4	Expertise nécessaire : la défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie

Figure 2.15 – Analyse des modes de défaillances et de leur criticité.

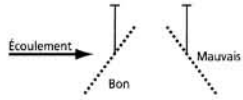
JH2m	Étude AMDEC				Atelier : filtration				
					Unité production : circuit eau chaude				
Secteur : traitement des minerais					Unité maintenance : fosse de récupération				
Matériel		Caractéristiques de la défaillance			Criticité				Résultats d'étude
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet sur système	G	O	D	C	Actions à mener
Grillage	Filtration Récupération des corps étrangers	Bouchage	Divers corps étrangers	Dysfonctionnement des pompes de soutirage	3	4	3	36	Constatations : 50 à 60 % du temps, la grille se trouve enlevée. Lors du lavage, on enlève la grille lorsqu'elle est bouchée. Et elle n'est pas souvent remise en place. Ce qui laisse passer les divers corps tels que les plastiques, les morceaux de bois, les chiffons... dans la fosse de dessablage. Cela est l'une des causes de défaillance du dessableur et des pompes de soutirage. IT : consignes à respecter : – Ne jamais enlever la grille en raison d'un bouchage. – Nettoyer la grille lorsqu'elle est bouchée. – Évacuer les corps étrangers en dehors de la fosse de dessablage. – Ne pas laisser tomber les objets lors des interventions. Respecter le bon positionnement de la grille :  La grille doit toucher le fond de la fosse MP : vérification quotidienne du bon positionnement de la grille de la fosse de récupération. MP : nettoyage de la grille et de la fosse de récupération toutes les semaines. AM : étude d'amélioration de la conception de la grille.
MP : maintenance préventive/AM : amélioration/SC : solution corrective/PR : pièce de rechange/ IT : instructions techniques/CP : révision conception									
Animé par Jean Heng (11/11/1994)									Folio 1/5

Figure 2.16 – Étude AMDEC.

Tableau 2.1 – Échelle de criticité (C = G · O · D).

C < 16	Ne pas tenir compte
16 ≤ C < 32	Mise sous préventif à fréquence faible
32 ≤ C < 36	Mise sous préventif à fréquence élevée
36 ≤ C < 48	Recherche d'amélioration
48 ≤ C < 64	Reprendre la conception

Il faut avoir une vision large en pratiquant l'AMDEC de cette manière. Le résultat de l'étude doit aboutir à (figure 2.16) :

- la définition des pièces de rechange ;
- la création des documents ;
- le choix de la politique de maintenance ;
- la description de la défaillance et de sa résolution ;
- la recherche de l'amélioration ;
- la révision de la conception.

2.4.7 Matrice de défaillance simplifiée

Si l'objectif est seulement de bâtir un plan de maintenance, l'utilisation d'une matrice de défaillance simplifiée, à deux criticités (figure 2.17), est suffisante :

- préventif de fréquence élevée pour A1, A2, A3, B1, B2 et C1 ;
- préventif de fréquence faible ou pas de préventif pour B3 et C2 ;
- pas de préventif pour C3.

Échelle d'occurrence		Probable < 1 an	Possible < 3 ans	Quasi impossible > 3 ans
Classe de gravité		A	B	C
Très critique (arrêt de production)	1			
Critique (ralentissement ou risque d'arrêt dans quelques jours)	2			
Sans influence (la dégradation ne peut avoir une influence qu'à moyen terme)	3			

Figure 2.17 – Matrice de défaillance à deux criticités.

2.5 Plan de maintenance préventive

2.5.1 Recueil des opérations de maintenance

Le recueil des opérations de maintenance préventive est un document de travail des méthodes qui permet de lister les opérations en passant en revue systématique tous les organes (figure 2.18). Ce document comporte les éléments suivants.

■ Opérations

Cette partie comporte la description succincte des opérations appliquées sur des organes. On met une croix dans les deux colonnes suivantes :

- marche : pour l'opération qui pourrait se faire pendant que la machine est en production ;
- arrêt : pour l'opération qui doit être faite pendant un arrêt de la production.

■ Intervenants

- MEC : mécanicien
- CAO : caoutchouteur
- CHA : chaudronnier
- ELC : électricien
- INS : instrumentiste
- GRA : graisseur
- BEM : méthodiste
- EXP : exploitant (utilités)
- FAB : opérateur (production)...

On notera 2MEC1ELC une équipe composée de deux mécaniciens et d'un électricien.

■ Durée

Il s'agit du temps élémentaire de l'opération, dont l'estimation est basée sur l'expérience, hors temps de déplacement. Ce temps est exprimé en heure et on notera 0,50 pour une demi-heure.

■ Périodicité

- J : journalier
- H : hebdomadaire
- M : mensuel
- T : trimestriel
- S : semestriel
- A : annuel (et *n*A, par exemple 2A pour bisannuel)

■ Numéro de fiche de maintenance préventive

Il s'agit du numéro de la fiche utilisée par les intervenants pour effectuer la visite préventive sur laquelle sera reportée l'opération en question.

Remarque

Les numéros de fiche de maintenance qui figurent dans cette colonne facilitent la mise à jour des opérations de préventif. Pour faciliter la mise en place de la TPM, la colonne Niveau sert à désigner les niveaux de maintenance, notés de 1 à 5. Les opérations de niveau 1 seront prises en compte par le plan de maintenance TPM.

■ **Observations**

On notera tous les renseignements utiles (figure 2.18) pour pouvoir réaliser correctement l'opération demandée telle que :

- valeur de référence,
- outillage spécial,
- numéro de plan,
- référence de l'instruction technique ou titre de l'instruction à réaliser,
- référence de consigne de conduite ou de sécurité,
- référence des fiches d'expertises.

2.5.2 Récapitulatif

Quand les opérations sont peu nombreuses, l'établissement du plan de maintenance n'est pas très complexe. Celui-ci se présente sous la forme simplifiée d'un récapitulatif des gammes de maintenance correspondant à la machine concernée (figure 2.19).
Dans le cadre d'un plan de qualité d'entreprise en vue d'obtenir la certification ISO ou FDA (Food and Drug Administration), les documents doivent être visés par différents services.

2.6 Documents opérationnels

Ce sont des documents que les méthodes mettent à la disposition des intervenants pour exécuter les travaux.

2.6.1 Gamme d'entretien

Une gamme d'entretien dite de « détection d'anomalie », d'après la conception précédemment citée, se présente sous forme de trois colonnes :

- objet de contrôle : détail des opérations ;
- case à cocher : on mettra une croix si l'opération demandée est réalisée ;
- observation : pour des informations complémentaires.

2.6.2 Fiche de maintenance préventive

C'est un document opérationnel regroupant les opérations de maintenance préventive, qui seront confiées à une équipe (figure 2.20). Une équipe peut être formée d'un seul ou de plusieurs corps de métier.

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE
Recueil des opérations

Secteur : TRAITEMENT DE MINERAIS
Atelier : FILTRATION

Unité de production : CIRCUIT EAU CHAUDE
Unité de maintenance : FOSSE DE REPULPAGE

	Niveau	Marche	Arrêt	Intervenants	Durée en H	Périodicité J	H	M	T	S	A	nA	N° Fiche maintenance	OBSERVATIONS (Notes Méthodes)
Contrôle de l'état des câbles, du capot de protection, des fixations, de l'étanchéité de presse-étoupe, de boîte à bornes et nettoyage de la carcasse et de la grille de ventilation de moto-pompe de rétention Fosse N° 2	2		X	1ELC	1,50					X	X		E003	
Vérification de l'absence de bruit, de vibration, d'odeur et d'échauffement anormaux de moto-pompe de rétention Fosse N° 2	1	X		1FAB	0,15			X					Tournée mensuelle	
Contrôle de l'état de plaque d'usure de la pompe de rétention Fosse N° 2	2		X	2MEC	1,00						X		M501	Grue Richer + 1 grutier Démontage / remontage

Rédacteur : Jean HENG Date : 29 / 11 / 1994 Mise à jour le : Indice : A Folio : 1 / 1

Figure 2.18 – Plan de maintenance préventive : recueil des opérations.

JH2m — **MAINTENANCE PRÉVENTIVE** — **Unité de production : FILTRATION**

PLAN DE MAINTENANCE — **Unité de maintenance : CENTRIFUGEUSE CE470**

GAMMES OPÉRATOIRES			Type	Spécialité responsable					Durée	Périodicité	OBSERVATIONS
Codification	ind	Description	BT	MEC	ELC	INS	FAB	EXP	heure	en jours	
FI1088	A	Ronde mensuelle - Filtration	MPS	1						30	
FI1089	A	Suivi des vibrations - Filtration	MPS	1						90	
FI1090	A	Suivi des intensités moteurs - Filtration	MPS		1					90	
FI1091	A	Campagne de mesures d'épaisseur - Filtration	MPS	1						360	Organisme extérieur
CE1103	A	Visite type M1 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					1,00	30	
CE1104	A	Visite type M2 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					1,50	90	
CE1105	A	Visite type M3 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					4,00	180	
CE1106	A	Visite type M4 - Centrifugeuse CE470	MPS	2					12,00	360	* Assistance spécialiste
CE1107	A	Visite type M5 - Centrifugeuse CE470	MPS	2					40,00	1080	
CE1108	A	Visite type E0 - Centrifugeuse CE470	MPS		1				2,00	360	
		* Tâche assurée par la Fabrication : . Remplacement du filtre PF475 . Contrôle de l'état de joint gonflable									

Date	Ind	Rédacteur	Visa Maintenance	Visa Production	Visa Qualité	Visa Sécurité
8/11/00	A	J. HENG				

Page : 1 / 1

Figure 2.19 – Plan de maintenance.

■ **Parties établies par les méthodes**

- Opérations : cette colonne contient une liste des opérations de même périodicité et destinées à une équipe donnée pour effectuer le contrôle ou la visite.
- Consignes de sécurité : recommandations spéciales par rapport aux conditions d'interventions.
- Moyens : ce sont des moyens matériels ou documentaires servant à bien exécuter les travaux demandés. Ils pourront être :
  - outillages spéciaux,
  - n° de plan,
  - référence de l'instruction technique.
- Valeur/Référence : c'est une valeur référentielle correspondant à la marche normale de l'installation ou une valeur à neuf. Elle peut être soit une valeur fixe soit un intervalle de valeurs.
- Effectif : effectif de l'équipe (nombre et spécialité).
- OT n° : c'est le numéro de l'OT qui accompagne le lancement des travaux de prévention.

■ **Case remplie par le responsable d'intervention**

- Intervenants : on note le nom de tous les intervenants qui devront participer aux travaux.

■ **Parties remplies par les intervenants**

- Valeur/Mesure : c'est une valeur mesurée ou lue sur l'instrument installé.
- État : les intervenants donneront leurs appréciations en marquant :
  1. Rien à signaler
  2. Début dégradation
  3. Dégradation avancée
  4. Intervention immédiate

Remarque

Ces appréciations pourront se faire d'après l'état observé du matériel visité ou d'après la comparaison entre la valeur mesurée ou lue avec la valeur de référence donnée précédemment.

- Intv (Intervention réalisée) : si l'état observé est « 4 = danger », l'action corrective devra être entreprise immédiatement. Et on mettra une croix dans cette colonne quand l'intervention à faire est réalisée. En cas d'empêchement pour une cause quelconque, le chef d'équipe devra faire le nécessaire pour que l'intervention soit réalisée dans le temps qui suit.
- Observations des intervenants : cette colonne est réservée pour toutes les remarques ou les précisions apportées par les intervenants.

Les intervenants notent aussi le « temps passé » en bas de cette colonne. Cela permet aux méthodes de capitaliser le temps exact des travaux demandés et d'ajuster le planning de charge.

JH2m — **FICHE DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE N° E003**

Effectif : 1ELC | Intervenants : | OT N° : | Périodicité : S

Lancée le : ..... par ..... Réalisée le : .....

OPÉRATIONS	MOYENS	VALEURS Référence	VALEURS Mesure	ÉTAT	INTV	OBSERVATIONS INTERVENANTS
Contrôle de l'état des câbles, du capot de protection, des fixations, de l'étanchéité de presse-étoupe, de boîte à bornes et nettoyage de la carcasse et de grille de ventilation des moteurs : * pompes de soutirage Schabaver N° 1 et N° 2 * pompe de rétention - fosse de repulpage (fosse N° 2) * pompes de lavage toile N° 1 et N° 2 * pompes de reprise N° 1 et N° 2 - bassin de décantation						
Consigne de sécurité :						Temps passé : .....

ÉTAT: 1 : RAS, 2 : Début de dégradation, 3 : Dégradation avancée, 4 : Intervention immédiate — Intervention réalisée => X — Folio : 1 / 1

Figure 2.20 – Fiche de maintenance préventive.

JH2m	MAINTENANCE PRÉVENTIVE GAMME OPÉRATOIRE	Gamme : CE1105
		Unité de production : FILTRATION
BT N° :	Description : Visite type M3 - Centrifugeuse CE470	Unité de maintenance : CENTRIFUGEUSE CE470

SOUS-ENSEMBLE / ORGANES OPÉRATIONS	Valeurs Référence	 Mesure	Instructions : points clés moyens, documents joints..	Etat	Obseravations Intervenants
Centrifugeuse CE470 :					
Contrôle de l'état du manchette caoutchouc sortie produit					
Contrôle de l'état des joints toriques					
Contrôle de l'état des 3 plots amortisseurs					
Contrôle de l'état et la tension des courroies de rotation panier			Heinkel XPB-LW 2360 (3)		
Contrôle de l'état et la tension des courroies de translation			Heinkel XPA-LW 1180 (5)		
Graissage des paliers			3 graisseurs Graisse Kubler ISOFLEX NBU15		
Vérification de l'état du circuit de barrage des paliers			À l'intérieur du carter machine		
débit d'azote :	5 Nm3 / h		FIS470.9		
pression entrée d'azote :	2 bars		PI470.9		
pression sortie d'azote :	0,2 bar				
Nettoyage du filtre circuit de barrage paliers			À l'intérieur du carter machine		
Nettoyage du reniflard sur fourreau des paliers					
Pompe PU473 :					
Contrôle de l'état et l'absence de jeu de l'accouplement					

Ind	Date	Rédacteur	Validation maintenance	Date début	Date de fin	Temps passé	Validé par :	Réalisé par :
A	8/11/00	J. HENG						

Etat constaté 1: RAS 2: Début de dégradation 3: Dégradation avancée 4: Intervention immédiate — **Page : 1 / 1**

Figure 2.21 – Gamme de maintenance préventive.

2.6.3 Gamme de maintenance préventive

Une fiche de maintenance préventive et une gamme de maintenance préventive (figure 2.21) sont deux documents similaires, nous utilisons deux appellations pour définir les deux manières différentes de regroupement des opérations :

- la fiche de maintenance préventive ne regroupe que des opérations de même périodicité, d'une même équipe de travail, d'une machine ou d'une unité de maintenance ;
- il existe une notion de séquence entre les gammes de maintenance préventive d'une machine ou d'une unité de maintenance. La première gamme regroupe toutes les opérations d'une périodicité de base. La deuxième contient le contenu de la première et en plus les opérations dont la périodicité est un multiple de la périodicité de base.

Exemples

La fiche MP mensuelle ne contient que des opérations mensuelles. La fiche MP trimestrielle contient uniquement des opérations trimestrielles. La gamme M1 dite mensuelle contient les opérations mensuelles. La gamme M2 dite trimestrielle contient la gamme M1 + les opérations trimestrielles. La gamme M3 dite semestrielle contient la gamme M1 + la gamme M2 + les opérations semestrielles.

Remarque

Les fiches de maintenance préventive donnent plus de souplesse au travail de lissages des charges.

Mois	01	02	03	03	05	06	07	08	09	10	11	12
Fiche MP mensuelle	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fiche MP trimestrielle		X			X			X			X	
Fiche MP semestrielle			X						X			
Gamme MP mensuelle	X	X		X	X		X	X		X	X	
Gamme MP trimestrielle			X						X			
Gamme MP semestrielle						X						X

Figure 2.22 – Comparaison entre fiche et gamme de maintenance préventive.

2.6.4 Instruction technique

Ce document définit les règles de l'art des interventions ou les bonnes manières de faire (figure 2.23) :

- mode opératoire de démontage/remontage ;
- instructions de maintenance préventive ;
- instruction de réglage ;
- instruction d'essai ;
- instruction de manutention.

JH_{2m}	INSTRUCTION TECHNIQUE ÉLECTRIQUE E003	
	Désignation : ENTRETIEN PRÉVENTIF D'UNE ARMOIRE ÉLECTRIQUE OU D'UN COFFRET ÉLECTRIQUE	
	▪ Condition à respecter avant de commencer le travail : consignation	
	MATÉRIEL SUR PORTE	**À VÉRIFIER**
1	Appareil de mesure Voyant de signalisation Verrines de signalisation	▪ Fixation ▪ Raccordements ▪ Effectuer un test lampes
2	Commutateurs Boutons tournants Bouton poussoir	▪ Fixation ▪ Contacts ▪ Facilités de manœuvre ▪ Raccordements
3	Serrure Joints Tringlerie et articulations	▪ État mécanique ▪ Absence de points durs ▪ Fixation et état de joints de porte
	MATÉRIEL DANS L'ARMOIRE	**À VÉRIFIER**
4	Ensemble	▪ Nettoyage avec chiffon et aspirateur ▪ Aucun stockage des pièces ▪ Schémas dans un support adapté
5	Interrupteurs Sectionneurs Disjoncteurs	▪ Fixation et isolation ▪ Contacts ▪ Calibre des fusibles ▪ Facilités de manœuvre ▪ État de poignet de commande ▪ Raccordements ▪ Présence de pare-flamme
6	Contacteurs	▪ Fixation ▪ Contacts ▪ Partie mobile ▪ Raccordements
7	Résistances Potentiomètres	▪ Fixation ▪ Élément résistant ▪ Isolant ▪ Curseur ▪ Raccordements
8	Transformateurs	▪ Fixation ▪ Isolement primaires-secondaires ▪ Raccordements ▪ Absence de vibrations : essai sous tension
9	Borniers Cosses	▪ Fixation ▪ Raccordements ▪ Soudure
10	Jeux de barre	▪ Serrage ▪ Supports ▪ Raccordements
11	Filerie	▪ État, rangement des fils
12	Goulotte	▪ Fixation ▪ Mise en place des couvercles
13	Filtre de ventilation	▪ Nettoyage ou remplacement
14	Relais	▪ Nettoyage ▪ Raccordements ▪ Absence de vibrations : mise sous tension ▪ Présence de repérage
Réalisé par J. Heng le 15/11/1997		Folio 1/1

Figure 2.23 – Instruction technique électrique.

2.6.5 Fiche d'expertise

Ce document contient une liste de points à examiner lors de l'expertise (figure 2.24) :

- d'une unité fonctionnelle ;
- d'un sous-ensemble ;
- d'un organe.

Cette fiche est souvent utilisée lors d'une révision d'un appareil avec démontage.

2.6.6 Instruction de graissage

Certaines machines possèdent de nombreux points de graissage, plus ou moins visibles. L'objectif d'une fiche de graissage est de présenter les opérations d'une manière très explicite afin de faciliter les exécutions que l'on pourra confier au personnel de premier niveau de formation en maintenance. Une fiche de graissage comporte les éléments suivants (figure 2.25) :

- opérations : graissage, lubrification, contrôle de niveau, vidange et remplacement, nettoyage ;
- qualité du lubrifiant ;
- quantité du lubrifiant : en gramme, en litre, nombre de coups de pompe ;
- moyen : pompe manuelle, pinceau, indicateur de niveau ;
- repère : schéma avec numérotation des points de graissage.

2.7 Planification des travaux de maintenance préventive

C'est la phase de l'organisation du travail ou de préparation à l'ordonnancement.

2.7.1 Planning des charges

C'est une répartition annuelle homogène pour tous les arrêts, sauf l'arrêt annuel et l'arrêt de fin de production, afin de respecter les moyens en personnel dont dispose la réalisation (capacité des charges des ateliers).
La planification devra tenir compte des contraintes suivantes :

- la charge effective de l'ensemble des travaux définis dans chaque fiche de maintenance préventive ;
- la périodicité des opérations ;
- la durée effective du temps de travail (6 heures par poste) ;
- les conditions d'intervention telles que l'accessibilité, la localisation, les règles de sécurité ;
- la politique du service de maintenance, de production ou de l'entreprise.

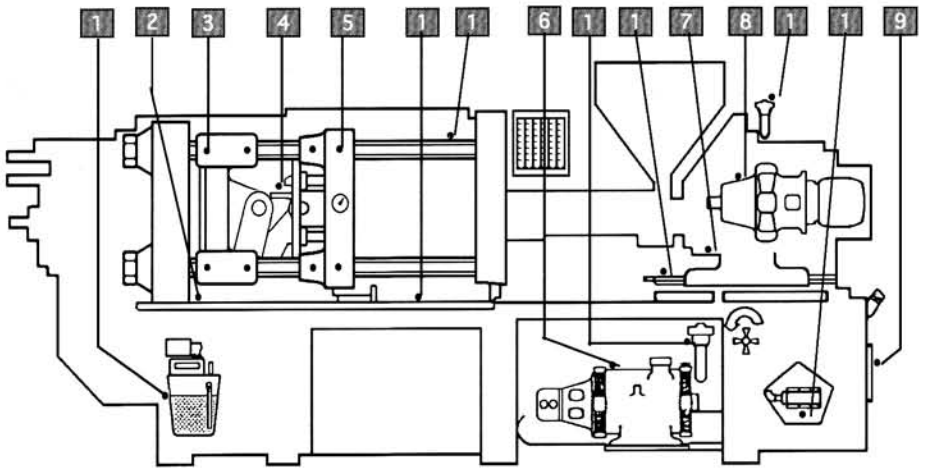
FICHE D'EXPERTISE N° CTC 01						Expertise réalisé le :
Désignation du travail : **RÉVISION DE LA POMPE KESTNER Type S 5,5 F.b. 5 L** Plan KESTNER N° 45117 FONDOIR À SOUFRE – ATELIER CONTACT						Visa :
POINTS À EXAMINER	REPÈRE ORGANE	OBJET DE L'EXAMEN	VALEUR RÉFÉRENCE	VALEUR MESURÉE	ÉTAT	OBSERVATIONS
PARTIE SUPÉRIEURE (DOS DE VOLUTE)	11	État du dos : absence d'usure				
ROUE	13	État de la turbine et des pâles : absence d'usure et de fissure				
VOLUTE (TURBINE)	12	État d'usure intérieur du corps				
BAGUE D'USURE TURBINE	14	État d'usure				
BAGUE D'USURE DU DOS DE VOLUTE	15	État d'usure				
ROULEMENT INFÉRIEUR	51	État d'usure				
ROULEMENT SUPÉRIEUR	55	État d'usure				
ARBRE	21	État de l'arbre : * absence d'usure à la portée des roulements * absence d'usure à la portée de la turbine * absence de faux rond				
ACCOUPLEMENT	41 42 43 44	État d'usure de : * flasque * doigts * disque				
RONDELLE SPECIALE	24	État d'usure				
JOINT D'ETANCHÉITÉ DE REFOULEMENT	17	Remplacement systématique des joints				
BOULONS D'ASSEMBLAGE	76 81	État des boulons : absence d'usure de filetage et de corrosion				
TRESSE	18	État d'usure				
PRESSE-ÉTOUPE	35	État d'usure				
Doc réalisé le 28/11/96 par Jean HENG Mise à jour : Indice : A * Plan au dos						**Folio : 1 / 1**

Figure 2.24 – Fiche d'expertise.

JH 2m

INSTRUCTION DE GRAISSAGE

Machine PR 18
Presse à injecter BILLON H 280/90



Rep	Organe	Intervention	Référence produit	Nbre de graisseur	Quantité (litres)	Moyen	Périodicité (heure)
1	Centrale de graissage	Contrôle & remise niveau	ANFROL XPO				100
		Remplacement	ANFROL XPO		4		6000
2	Sommier	Graisser	Multi usage	3G		pompe manu	500
3	Plateau embiellage	Graisser	Multi usage	2 x 4G		pompe manu	500
4	Système d'éjection	Graisser	Multi usage	3G		pompe manu	500
5	Plateau mobile	Graisser	Multi usage	2 x 4G		pompe manu	500
6	Moteur électrique	Graisser	Multi usage	2G		pompe manu	1500
7	Groupe d'injection	Graisser	Multi usage			pompe manu	500
8	Moteur hydraulique	Graisser	Multi usage	1G		pompe manu	1500
9	Réservoir hydraulique	Contrôle & remise niveau	SAFCO RUBRIC S.68.Z				100
		Prise d'échantillon - analyse / remplacement			3000		6000
10	Filtre départ	Contrôle de colmatage	HC 9600 FKK 8H				100
11	Filtre d'aspiration	Nettoyage	Z3B.430				6000
12	Filtre - groupe injection	Contrôle de colmatage	HC 9801 FDP4H				100
13	Glissière de fermeture	Cont présence de graisse				Cont visuelle	100
14	Colonne de fermeture	Cont présence de graisse				Cont visuelle	100
15	Glissière d'injection	Cont présence de graisse				Cont visuelle	100

Réalisateur Jean HENG — date : 22/04/2000 — modifié le : — Indice : A — fo

Figure 2.25 – Instruction de graissage.

■ Calcul du nombre de postes d'arrêt

Le nombre de postes d'arrêt et celui des arrêts programmés devront répondre au besoin des charges à programmer. La détermination du nombre d'arrêts programmés peut tenir compte aussi de la charge pour réaliser les OT. Cette charge peut être obtenue en consultant l'historique de l'année précédente et en estimant celle de l'année à venir. On obtiendra par le calcul un nombre d'arrêts pour chaque corps de métier et on prendra la valeur la plus grande correspondant à la charge la plus élevée (figure 2.26).

© Dunod - La photocopie non autorisée est un délit

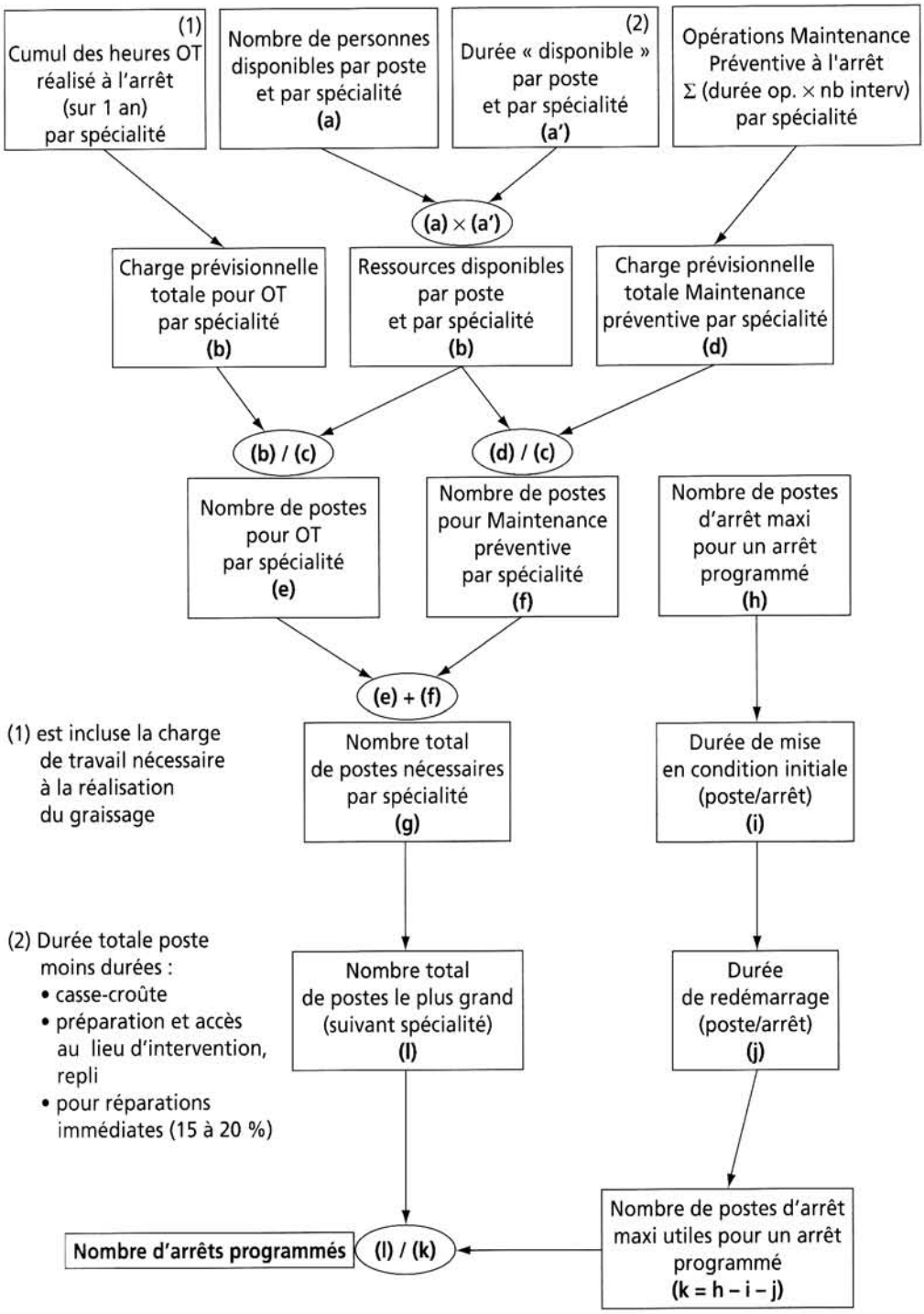


Figure 2.26 – Schéma de calcul du nombre d'arrêts programmés.

Remarque

Si les charges sont trop grandes, il est préférable de porter un œil critique sur le plan de maintenance préventive. L'expérience montre que le rédacteur a tendance à vouloir en faire trop :

- beaucoup d'opérations sur un ou plusieurs organes,
- périodicité trop serrée (trop de visite par an).

Éventuellement les périodicités et l'estimation des temps seront à revoir.

■ Données du planning (ou planification des arrêts)

Le tableau de planning des charges sera divisé en 52 semaines.

- La charge prévue par arrêt est exprimée en homme-heure, pour un arrêt donné, et est égale à :

  6 × Nombre de postes d'arrêt × Nombre d'intervenants prévus pour cet arrêt

- Le temps d'ouverture par poste est de 8 heures. En tenant compte des temps de changement de vêtement, temps de pause, temps de passation de consignes, du temps de déplacement... il reste 6 heures comme temps effectif de travail.
- La charge effective par arrêt est la charge pour accomplir une somme de travail à effectuer pendant cet arrêt. Elle est égale à la somme des charges effectives correspondant aux fiches de maintenance préventive à programmer pendant cet arrêt :

  = Somme [NSP × DUR]

- La charge disponible par arrêt est la charge prévue moins la charge effective.
- FCH : numéro de fiche de maintenance préventive.
- NSP : nombre de spécialités (défini dans les fiches de maintenance).
- N/A : nombre de fois à appliquer dans une année (exemple N/A = 12 pour une périodicité mensuelle).
- DUR : durée d'exécution.

2.7.2 Méthodologie de lissage des charges

Cela consiste à répartir sur les semaines d'arrêt, les tâches définies par les différentes fiches selon leur périodicité (N/A), ceci en tenant compte des contraintes citées précédemment.

Exemples

Certaines tâches ne doivent pas se trouver dans la même période.

Certaines tâches doivent être impérativement dans une période donnée.

Il ne doit pas y avoir d'incompatibilité entre les différents corps de métier.

■ Préparation

Dans la feuille de calcul, on fait entrer les données de toutes les fiches de maintenance préventive dans les colonnes FCH, NSP, N/A et DUR.
On inscrit ensuite le nombre de postes d'arrêt et le nombre d'intervenants prévus dans toutes les semaines où il y a l'arrêt.
Cette préparation exige la connaissance de l'organisation des ateliers.

■ Opération de lissage

Cette opération de lissage se fait par corps de métier. Il s'agit d'inscrire la valeur de la durée de la fiche dans toutes les colonnes des arrêts selon le nombre N/A et espacée suivant la périodicité. La charge effective et la charge disponible (charge restante) sont calculées de la manière suivante (figures 2.27 et 2.28).

Semaines					1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de postes d'arrêt						2				1		
Nombre d'intervenants						3				4		
Charge prévue par arrêt						36				24		
Charge effective par arrêt						3				3		
Charge disponible par arrêt						33				21		
	FCH	NSP	N/A	DUR								
	AE101	1	12	3		3				3		
	AE102	1	4	6								
	AE103	1	2	8								
	AE104	2	12	2								
	AE105	2	4	4								

Figure 2.27 – Exemple de feuille de calcul.

Semaines					1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de postes d'arrêt						2				1		
Nombre d'intervenants						3				4		
Charge prévue par arrêt						36				24		
Charge effective par arrêt						7				3		
Charge disponible par arrêt						29				21		
	FCH	NSP	N/A	DUR								
	AE101	1	12	3		3				3		
	AE102	1	4	6								
	AE103	1	2	8								
	AE104	2	12	2		2						
	AE105	2	4	4								

Figure 2.28 – Exemple de feuille de calcul.

Par exemple (figure 2.27), dans la semaine 2 :

- nombre d'arrêts = 2
- nombre d'intervenants = 3
- charge prévue pour cet arrêt = $6 \times 2 \times 3 = 36$

La fiche AE101 prévoit dans cette semaine :

- charge prévue : $1 \times 3 = 3$
- charge disponible après réalisation : $36 - 3 = 33$

Si la fiche AE104 est à réaliser dans la même semaine (figure 2.28) :

- charge prévue pour AE104 : $2 \times 2 = 4$
- charge effective : $3 + 4 = 7$
- charge disponible : $36 - 7 = 29$

Pour faciliter le travail, le tableau de lissage peut se faire en utilisant le tableur Excel avec insertion des formules de calcul dans des cellules correspondantes. Le calcul sera actualisé au fur et à mesure que l'on inscrit la durée des autres fiches dans les colonnes correspondantes.
Un lissage des charges est dit « parfait » lorsque la charge disponible (charge restante) est la même pour tous les arrêts. Si la charge restante est négative, c'est qu'il y a un dépassement de la charge prévue.
Étant donné que, pendant les arrêts, toutes les équipes se retrouvent pour un corps de métier donné, le lissage des charges doit se faire ensemble pour tous les ateliers. Il s'agit du partage des mêmes ressources. Autrement dit, toutes les fiches de maintenance de la même spécialité des différents ateliers doivent se retrouver dans le même tableau des charges.

Remarque
Dans ce tableau, il faut faire apparaître la période de l'arrêt annuel et celle de fin de production.

■ Ordre de priorité de placement des tâches

Les tâches ayant plus de contraintes sont à placer en premier. D'une manière arbitraire, on placera les fiches dans l'ordre suivant :
a. Fiche de périodicité mensuelle (N/A = 12).
b. Fiche contenant les opérations de longue durée.
c. Fiche contenant les opérations dont la période d'exécution est primordiale.
d. Fiche de périodicité trimestrielle (N/A = 4).
e. Fiche de périodicité semestrielle (N/A = 2).
f. Fiche de périodicité annuelle (N/A = 1).
En général, les fiches dont la durée est très longue seront lancées pendant l'arrêt annuel.

2.7.3 Lancement des travaux de maintenance préventive

On récapitule les fiches de maintenance à lancer à partir du tableau de planning des charges. Les méthodes préparent un dossier comprenant :

- les copies des fiches ou gammes de maintenance préventive ;
- les bons de sortie magasin pour les pièces à remplacer ;

– les documents d'accompagnement (fiches d'expertise, fiche de relevé d'épaisseur, fiche de graissage, plans...).

Les fiches « instructions techniques » doivent être mises à la disposition en permanence des intervenants dans les ateliers, ce qui permet aux intervenants de les consulter à volonté. La mise à jour et la création des nouvelles fiches se font au fur et à mesure.

2.8 GMAO et planification de maintenance préventive

La gestion de maintenance assistée par ordinateur assure le planning des charges en donnant les dates initiales de lancement des fiches ou les gammes de maintenance préventive. Selon les concepteurs, les logiciels de GMAO offrent plusieurs manières de gérer l'ordonnancement.

2.8.1 Gestion calendaire

Certains logiciels gèrent les échéances périodiques d'une opération ou un ensemble d'opérations de même périodicité. Cette gestion est basée sur les jours du calendrier. Le déclenchement s'effectue régulièrement dans le temps selon la périodicité en nombre de jours, en semaines ou en mois.
Cette méthode conviendra à la gestion des fiches de maintenance préventive. Dans ce cas, une fiche de maintenance représente un ensemble d'opérations.

2.8.2 Gestion séquentielle

Une périodicité de base est fixée en nombre de jours ou en mois. En plus du déclenchement calendaire dont le principe est le même que celui de la première méthode de gestion, le logiciel tient compte des séquences entre les différentes gammes de la même machine.

Exemples

Gamme M1 dite mensuelle – séquence : 1.
Gamme M2 dite trimestrielle – séquence : 3.
Gamme M3 dite semestrielle – séquence : 6.

Si la gamme M1 est réalisée pour la première fois, l'ordre de déclenchement des prochaines gammes sera :

1. Gamme M1.
2. Gamme M1.
3. Gamme M2.
4. Gamme M1.
5. Gamme M1.
6. Gamme M3.
7. Gamme M1.
8. Gamme M1.
9. Gamme M2.

Cette méthode conviendra à l'application de la planification des gammes de maintenance préventive. Elle peut aussi gérer les fiches de maintenance. Dans ce cas, une fiche de maintenance sera considérée comme une gamme « sans séquence ».

2.8.3 Gestion par compteur

C'est le cas idéal de l'application de maintenance préventive. Les opérations sont déclenchées par le nombre d'heures de fonctionnement de l'installation. Cette pratique nécessite un compteur horaire pour chaque machine isolée. Un seul compteur pourra être suffisant pour indiquer le nombre d'heures de fonctionnement d'un groupe de machines simples liées fonctionnellement ou groupées en unité de production.
Ce mode de gestion nécessite :

- le relevé et la mise à jour réguliers du compteur du système informatique ;
- ou la liaison entre le compteur machine et le système informatique permettant la mise à jour automatique.

2.8.4 Gestion des valeurs de mesure

Le déclenchement s'effectue quand la valeur d'un paramètre associé à un équipement atteint un seuil. Ce procédé peut être utilisé sur une installation équipée d'un suivi en continu d'un certain paramètre et s'adapte bien à la pratique de la maintenance préventive conditionnelle.

2.8.5 Gestion des événements

Le déclenchement s'effectue à l'apparition d'un symptôme de défaillance sur un équipement. Cette méthode conviendra pour une installation possédant un système de supervision.

2.8.6 Génération des ordres de travail

Le déclenchement des travaux de maintenance préventive se fait en utilisant la fonction « Génération des OT » et en choisissant la nature de travail « Maintenance préventive ». Et on définit une période de génération.
Dans un réseau informatique de l'entreprise, cette fonction peut aussi dépendre du responsable de l'atelier. Celui-ci peut créer et générer lui-même des OT. Mais dans la pratique de préparation et de suivi, il est préférable que la génération des OT de maintenance préventive soit faite par les méthodes.

2.9 Suivis de l'application

2.9.1 Suivi immédiat

C'est le rôle du chef d'équipe d'intervention, qui suit l'avancement de son équipe et se rend compte des problèmes au cours du déroulement.

Les résultats de visite sont exploités par les agents de maîtrise de réalisation maintenance pour déclencher les travaux nécessaires.

2.9.2 Suivi ordonnancement/méthodes

L'ordonnancement veillera à ce que les interventions se passent bien d'après le planning. Il se rend compte du problème s'il y a un blocage de l'intervention immédiate (état 4) ou de l'ensemble des opérations. En connaissant la raison du blocage, il trouvera la solution pour que l'intervention nécessaire soit réalisée dans un délai convenable.

Rappel

Dans la fiche de maintenance, les intervenants doivent marquer une croix dans la colonne « INT : intervention réalisée », si l'action corrective intervient immédiatement, suite à une appréciation « état 4 ».

Les agents des méthodes suivent l'évolution de la dégradation des composants ou organe soit en analysant les enregistrements de CND (contrôle non destructif) ou de maintenance conditionnelle, soit en exploitant les résultats des visites.
En fonction du délai d'approvisionnement et du mode d'usure ou de défaillance d'un organe donné, diverses appréciations vont suivre les visites :

- état 2 : début de dégradation, les agents des méthodes considèrent qu'il s'agit d'un avertissement et ils porteront une attention particulière à l'organe en question ;
- état 3 : dégradation avancée, les agents des méthodes commencent à préparer les pièces de rechange nécessaires et prévoient la prochaine intervention où l'état de l'organe pourrait devenir 4.

2.9.3 Circuit des dossiers de maintenance préventive

Voir figure 2.29 page suivante.

2.10 Préparation des arrêts

2.10.1 Recensement des travaux

En principe les arrêts courts et de faible périodicité, par exemple les arrêts hebdomadaires ou mensuels, sont pour l'application de la maintenance préventive. Mais on pourra profiter de ces arrêts pour réaliser d'autres travaux :

- intervention suite à la dernière visite de prévention ;
- travaux de réparation suite au dépannage à caractère provisoire ;
- travaux demandés par les différents services.

La réunion hebdomadaire interservice permet de faire la mise à jour des travaux supplémentaires.
Un arrêt annuel comportera encore plus de travaux :

- opérations de procédure d'arrêt (dans certaines usines, cette phase peut durer jusqu'à 2 à 5 jours) ;
- travaux répétitifs ;

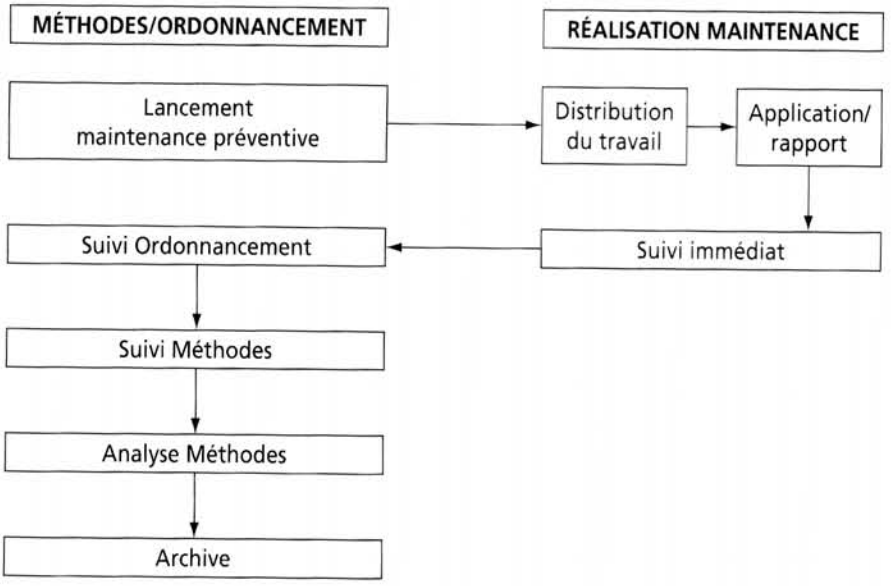


Figure 2.29 – Circuit des dossiers de maintenance préventive.

- travaux suite à des visites préventives et non réalisés au cours de l'année ;
- grands travaux de modification, de remise en état ou de remplacement ;
- travaux suite à des visites réglementaires et non soldés au cours de l'année ;
- opérations de maintenance préventive de périodicité annuelle ou d'autres périodicités prévues par le planning des charges.

2.10.2 Établissement du planning

Le diagramme de Gantt est le plus facile à établir pour planifier la totalité des travaux. Par ailleurs les logiciels de planification sont nombreux actuellement.
Pour des travaux complexes et longs nécessitant plusieurs corps de métier, il est préférable d'établir un dossier complet de « préparation du travail ».
Dans le diagramme de Gantt, une tâche est représentée par un segment de droite dont la longueur caractérise la durée.

Désignation	Intervenant	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h
Tâche A	Pierre								
Tâche A	Jacques								
Tâche B	Pierre								
Tâche C	Jacques								

Figure 2.30 – Fiche de préparation du travail.

Dans le cas où l'arrêt hebdomadaire est principalement un arrêt pour maintenance préventive, le planning d'arrêt peut être préétabli et on ajoute les travaux supplémentaires sur les lignes prévues à cet effet.

2.10.3 Préparation avant l'arrêt

Cette étape est très importante pour la réussite de l'exécution des travaux :

- commande des pièces de rechange, des ensembles d'organes et des matières ;
- lancement de fabrication de pièces à remplacer ;
- prévision de main-d'œuvre extérieure ;
- interventions des spécialistes.

2.10.4 GMAO et préparation des arrêts

Certains logiciels simplifient la création des OT pour les travaux complexes, composés de plusieurs phases et engageant plusieurs corps de métier, en proposant des OT multi-BT.
Un numéro est donné automatiquement à un OT et les BT prendront le numéro de l'OT suivi de leur indice numérique. Le libellé de l'OT est celui du travail donné. Le libellé d'un BT est composé du libellé de l'OT et de la désignation de la phase correspondante.

Exemple

OT n° 445 : REMPLACEMENT BLINDAGE TRÉMIE.

BT n° 445 – 01 : REMPLACEMENT BLINDAGE TRÉMIE – Démontage (4 chaudronniers).

BT n° 445 – 02 : REMPLACEMENT BLINDAGE TRÉMIE – Transport blindage (2 chaudronniers).

BT n° 445 – 03 : REMPLACEMENT BLINDAGE TRÉMIE – Élévation des blindages et remplacement (4 chaudronniers, 1 grutier).

BT n° 445 – 04 : REMPLACEMENT BLINDAGE TRÉMIE – Enlèvement des débris (1 chaudronnier, 1 cariste).

La liaison entre la GMAO et le logiciel de planification facilite le transfert des données.

2.11 Analyses quotidiennes et méthodes

2.11.1 Classement des gammes de maintenance préventive

Au retour de l'application, les fiches ou les gammes de maintenance préventive sont groupées dans un grand dossier « Unité de production ». Le dossier d'une unité de production est découpé par des intercalaires « Unités de maintenance » dans lesquelles les gammes correspondantes sont classées dans l'ordre de leur numéro de référence (figure 2.31). Les mêmes gammes doivent se trouver ensemble et dans l'ordre chronologique de l'application inverse.

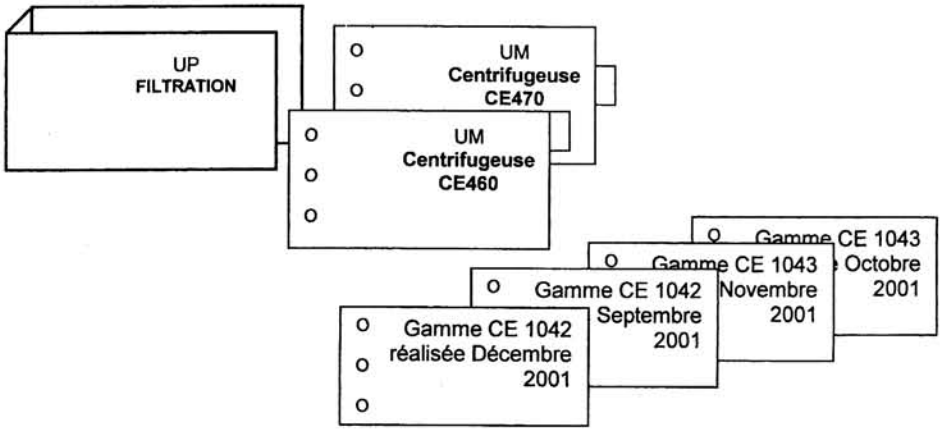


Figure 2.31 – Classement des gammes de maintenance préventive.

2.11.2 Analyse de retours d'informations (tableau 2.2)

Après un certain nombre d'applications du plan de maintenance préventive, les méthodes pourront exploiter les retours d'informations selon les principes suivants :

- si pour toutes les opérations effectuées sur un organe donné, les appréciations sont toujours à l'état 1 : RAS, on doit commencer à poser la question : la périodicité donnée n'est-elle pas trop serrée ?
- par contre, s'il y a une panne entre les deux visites, est-il possible que la périodicité donnée soit trop large ?
- dans certains cas, on devra garder la périodicité assez serrée par précaution ou pour raison de sécurité.

L'expérience montre qu'il faut attendre un délai d'application de 6 mois au minimum avant d'entamer une modification générale des plans de maintenance d'une usine de taille importante. Ceci en vue de s'assurer que tout se passe bien et que toutes les gammes sont appliquées dans de bonnes conditions.

2.11.3 Analyse des rapports de dépannage

À la suite d'un incident (traitement des bons de travail – historique d'intervention), on devra s'interroger sur le plan de maintenance :

- Cet incident peut-il être prévenu par des visites systématiques ?
- Si oui, existe-t-il une opération de contrôle sur cet organe en question ?

Pour une panne donnée, il faut vérifier s'il s'agit d'une panne répétitive ou d'un incident extraordinaire, avant de dire que la périodicité est trop large. Dans tous les cas, chercher à éliminer complètement une panne en connaissant sa cause est mieux que faire la visite de maintenance préventive (figure 2.32).
Ceci fait l'objet d'une étude de fiabilisation.

Tableau 2.2 – Analyse de retours d'informations.

Constatations	Actions
Des arrêts pour panne ont lieu avant certaines visites	Augmenter la fréquence de visite
La dégradation évolue très lentement de l'état 1 à l'état 2	Diminuer la fréquence de visite
Toutes les *n* visites, on doit remplacer un organe	Remplacer les visites par des remplacements systématiques à fréquence *n*
La dégradation évolue très rapidement de l'état 1 à l'état 4	Faire une analyse pour résolution de défaillance

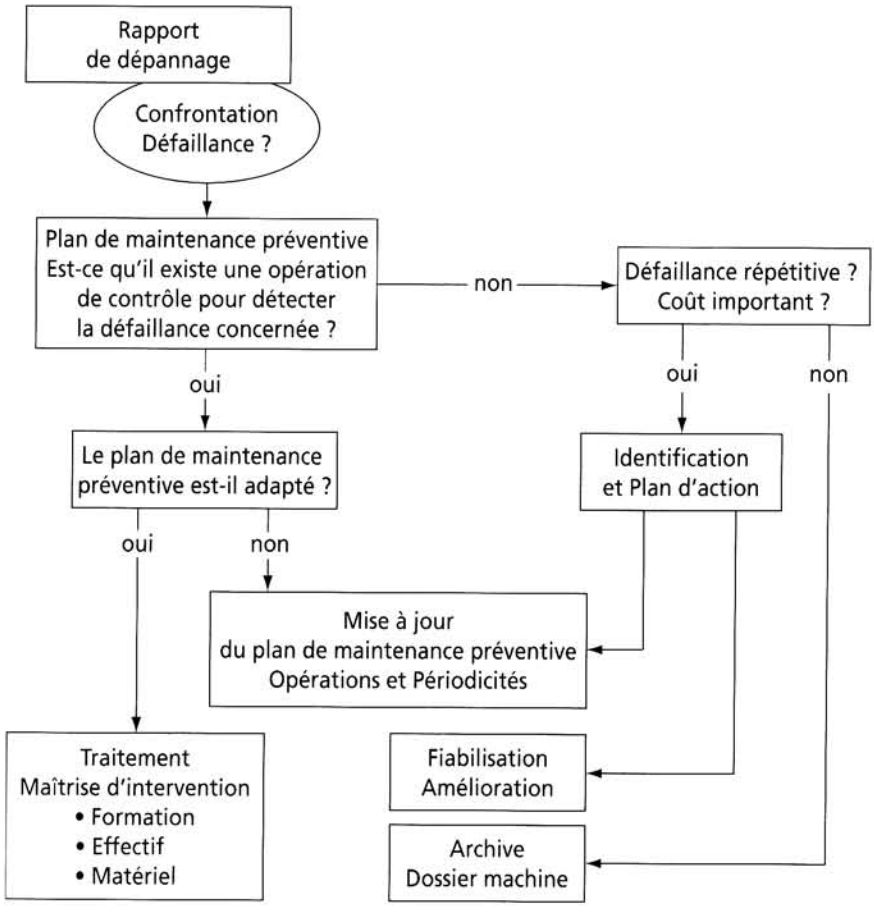


Figure 2.32 – Analyse d'un rapport de dépannage.

2.12 Intégration des contrôles réglementaires

Dans certaines entreprises, la gestion des contrôles réglementaires se fait à part. Elle est confiée soit au service de sécurité, soit à la production.
En principe les contrôles réglementaires sont sous la responsabilité du responsable de maintenance. Le moyen le plus simple est de les intégrer dans les plans de maintenance. Cela permet ainsi de les gérer en même temps que des opérations de maintenance et de bénéficier de l'utilisation de la GMAO.
Nous renvoyons aux tableaux en annexe de l'ouvrage qui donnent les périodicités des différentes installations soumises.

B

Techniques

3 • CONTRÔLES NON DESTRUCTIFS

3.1 Lubrification

3.1.1 Lubrifiants et additifs

■ Les lubrifiants

Le rôle d'un lubrifiant est tout d'abord la diminution du frottement, cause principale de l'usure. Il permet une formation d'un film qui sépare les éléments glissant l'un sur l'autre. Par ses propriétés physiques, il assure également d'autres fonctions :

- refroidissement : évacuation de la chaleur produite par le frottement ou par une source extérieure ;
- protection contre la rouille et d'autres types de corrosion ;
- filtration : mise en suspension des particules et piégeage sur un filtre ;
- étanchéité : matelas visqueux entre les pièces mécaniques ;
- transmission de l'énergie : dans les circuits hydrauliques et les transmissions automatiques de véhicules.

On les distingue, selon leur nature, en plusieurs catégories suivantes :

- Les *huiles minérales* sont issues du raffinage du pétrole brut. Elles sont les plus utilisées car elles ont l'avantage d'être peu coûteuses et d'offrir une gamme très étendue de viscosité. On peut ainsi modifier leurs caractéristiques en ajoutant des additifs.
- Les *huiles grasses* sont d'origine animale ou végétale (huile de colza, de ricin, de lanoline). Elles sont très peu utilisées dans la lubrification proprement dite. Elles sont de faible viscosité et très sensibles au vieillissement par oxydation.
- Les *huiles synthétiques* sont obtenues par synthèse chimique. Leur utilisation nécessite parfois des précautions (tenues des joints, filtration, miscibilité).
- Les *graisses* sont des huiles minérales ou synthétiques épaissies par un gélifiant (savon ou argile colloïdale). Leur consistance est fonction de la teneur en gélifiant. Leur utilisation principale est le graissage des roulements et des articulations.
- Les *lubrifiants solides* proviennent de la cristallisation laminaire de certains produits (graphite, bisulfure de molybdène). Ils sont utilisés dans la lubrification sous forte charge ou à haute température.
- Les *fluides à base d'eau* sont difficilement inflammables et utilisés dans certaines applications particulières (arrosage des machines outils).

■ **Les additifs**

On trouve les familles d'additifs habituellement employés dans les huiles lubrifiantes.

□ **Les antioxydants**

Les huiles utilisées dans les applications haute température et en contact avec l'air s'oxyderont en formant des composés chimiques qui peuvent dégrader la viscosité et provoquer la corrosion. Les antioxydants peuvent multiplier par 10 et plus la résistance de l'huile à l'oxydation.

□ **Les anti-usures**

Ces additifs anti-usure ou *anti-wear* (AW) forment une couche qui protège contre l'usure en évitant le contact direct entre les surfaces.

□ **Les additifs EP actifs**

Les additifs EP (extrême pression) accroissent la capacité de charge du film lubrifiant. Ils se combinent physiquement avec le métal et forment une surface dont la résistance est moins importante que le métal lui-même. Le cisaillement est plus facile, ce qui évite un contact métal/métal et un grippage.
Pour les roulements fortement chargés, par exemple les roulements de laminoirs, on recommande habituellement l'utilisation de graisse contenant des additifs EP. Mais il faut être très prudent dans le choix d'un lubrifiant EP et se faire confirmer par le fabricant la formule des additifs EP pour ne pas endommager le matériel.
Les additifs EP les plus courants contiennent des composés phosphatés, chlorés et soufrés.

□ **Les additifs anti-mousse**

Avec les additifs anti-mousse, la tension de surface est réduite et les bulles de lubrifiant éclatent lorsqu'elles atteignent la surface du bain d'huile.

3.1.2 Propriétés des lubrifiants

On peut citer les propriétés importantes des lubrifiants :
- la viscosité, l'aptitude à la formation d'un film pour les huiles ;
- la consistance pour les graisses.

■ **Viscosité**

La viscosité est la plus ou moins grande facilité d'écoulement d'un liquide. Physiquement cette propriété caractérise le frottement interne dans une huile lubrifiante, qui se produit entre les différentes couches moléculaires quand le liquide est mis en mouvement.
L'unité de mesure pour la viscosité cinématique est le mm^2/s (ISO), le centistoke (cSt). Les mesures sont, en général, faites à 40 °C et à 100 °C. Aux États-Unis,

on utilise le SUS *(Saybolt Universal Seconds)* et les mesures se font à 100 °F (37,8 °C) et à 210 °F (98,9 °C).
On distingue la viscosité dynamique de la viscosité cinématique.

Viscosité dynamique

Le coefficient de viscosité dynamique est déterminé à l'aide des appareils constitués par un cylindre tournant dans un stator contenant d'huile (viscosimètre Brookfield ou *cold cranking simulator*). On mesure l'effort de cisaillement sur la pellicule d'huile. Cette propriété est principalement utilisée pour les mesures à basse température relatives à la classification SAE (Society of Automotive Engineers) des huiles pour moteurs et pour transmissions mécaniques.
L'unité de mesure est le centipoise (cP).
La classification SAE établit une plage de viscosité des huiles des moteurs et des transmissions mécaniques de véhicules (boîte de vitesse et pont moteur). La mesure de viscosité se fait à 98,9 °C (210 °F) pour les huiles utilisées en été (prépondérance de la viscosité à chaud pour assurer la lubrification) et à –17,8 °C pour les huiles d'hiver (importance de la viscosité à froid pour le démarrage).
Cette mesure permet de vérifier qu'une huile, qui permettrait le démarrage d'un moteur par temps froid, est suffisamment pompable pour assurer dès les premiers tours, une circulation suffisante et éviter des usures et des grippages.
On appelle une huile multigrade 10 W/30, une huile qui a, à chaud (100 °C), une viscosité comprise dans la fourchette SAE 30 et qui, à froid, se comporte comme une huile SAE 10 W (tableau 3.1).

Tableau 3.1 – Définition des grades SAE de viscosité.

Grade SAE de viscosité	Viscosité maximale à la température de	Température limite de pompabilité	Viscosité (en cSt à 100 °C)	
			mini	maxi
0 W	3 250 à – 30 °C	– 35 °C	3,8	—
5 W	3 500 à – 25 °C	– 30 °C	3,8	—
10 W	3 500 à – 20 °C	– 25 °C	4,1	—
15 W	3 500 à – 15 °C	– 20 °C	5,6	—
20 W	4 500 à – 10 °C	– 15 °C	5,6	—
25 W	6 000 à – 5 °C	– 10 °C	9,3	< 9,3
20	—	—	5,6	< 12,5
30	—	—	9,3	< 16,3
40	—	—	12,5	< 21,9
50	—	—	16,3	

Viscosité cinématique

On mesure le temps d'écoulement d'un volume déterminé d'huile au travers d'un tube capillaire étalonné (viscosimètre d'Ubbelohde). Seul l'effet de la gravité

du poids de l'huile intervient. Le temps d'écoulement en secondes, multiplié par le coefficient du tube donne la viscosité cinématique de l'huile à la température de mesure.
La viscosité cinématique est la plus utilisée pour des raisons de facilité de mesure. L'unité est le centistoke (cSt) ou le millimètre carré par seconde (mm^2/s).
L'échelle ISO (tableau 3.2) est basée sur les viscosités à 40 °C et composée de 18 grades (VG pour *viscosity grade*).

Tableau 3.2 – Définition des classes ISO de viscosité.

Classe ISO de viscosité	Viscosité cinématique médiane (cSt à 40 °C)	Limites de la viscosité cinématique (cSt à 40 °C)	
		mini	maxi
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1 000	900	1 100
ISO VG 1500	1 500	1 350	1 650

☐ Indice de viscosité

On l'appelle parfois l'indice de Dean et Davis. C'est un nombre empirique permettant d'apprécier l'effet de la variation de température sur la viscosité d'un lubrifiant. Cet indice est déterminé à partir des indices des deux huiles de base.
Indice de référence 100 : faible variation de viscosité.
Indice de référence 0 : variation importante de viscosité.
L'indice de viscosité d'un lubrifiant donné est obtenu par les opérations suivantes :
Soient U et S les viscosités mesurées de l'huile étudiée à 37,8 °C et à 98,9 °C.
Les deux huiles étalons d'indice de viscosité 100 et 0 seront choisies dans la table.

– S : la viscosité des deux huiles à 98,9 °C,

– H : la viscosité à 37,8 °C de l'huile d'indice 100,
– L : la viscosité à 37,8 °C de l'huile d'indice 0.

L'indice de viscosité VI de l'huile concernée sera (figure 3.1) :

$$VI = \frac{(L-U)}{(L-H)} \times 100$$

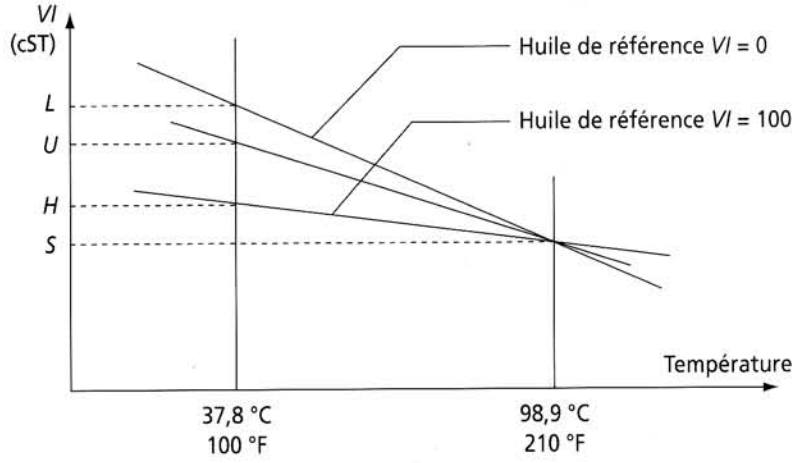


Figure 3.1 – Indice de viscosité.

Actuellement on peut avoir des lubrifiants d'indice de viscosité supérieur à 140.

■ Aptitude à la formation d'un film

L'épaisseur de film lubrifiant est surtout déterminée par la vitesse linéaire ou de rotation, la température et la viscosité.

■ Consistance

La consistance est le degré de fermeté d'une graisse. Le classement NLGI (National Lubricating Grease Institute) des États-Unis est basé sur la pénétration d'un cône normalisé dans le lubrifiant pendant 5 secondes. Ce classement définit les indices aux pénétrations travaillées (tableau 3.3).

Tableau 3.3 – Définition de l'indice NLGI.

Indice NLGI	Pénétration travaillée (mm)	Indice NLGI	Pénétration travaillée (mm)	Indice NLGI	Pénétration travaillée (mm)
000	44,5 à 47,5	1	31,0 à 34,0	4	17,5 à 20,5
00	40,0 à 43,0	2	26,5 à 29,5	5	13,0 à 16,0
0	35,5 à 38,5	3	22,0 à 25,0	6	08,5 à 11,5

■ **Caractéristiques des graisses**

□ **Graisses au savon de calcium**

Les graisses à base de calcium peuvent être utilisées en permanence à des températures inférieures à 50 °C et pendant de très courte durée jusqu'à 75 °C. Elles sont très résistantes à l'eau et leur stabilité mécanique est assez bonne. Les caractéristiques antirouilles inhérentes à ce type de graisse sont médiocres mais elles peuvent être améliorées par l'incorporation d'inhibiteurs. Il est possible de fabriquer des graisses complexes au calcium, assurant une lubrification de paliers jusqu'à des températures voisines de 150 °C.
Leurs indices NLGI sont très bas (000, 00, 0 et 1) et elles sont très utilisées dans le graissage centralisé.

□ **Graisses au savon de sodium**

Leurs caractéristiques antirouilles sont bonnes, mais leur résistance à l'eau est médiocre. Elles ne peuvent pas être utilisées dans les paliers en contact avec l'eau ou insuffisamment étanches.

□ **Graisses au savon de lithium**

Les graisses à base de lithium sont admises comme graisses multifonctions en raison de leur excellente stabilité mécanique et de leur bonne résistance à l'eau. Leur application s'étend dans une large gamme de températures.

Tableau 3.4 – Caractéristiques des graisses au savon.

Graisse type de savon	Limite supérieure de température d'utilisation		Résistance à l'eau	Stabilité mécanique
	Applications générales	Utilisation permanente dans les paliers à roulements		
Calcium	75 °C	50 °C	Bonne	Acceptable
Sodium	120 °C	80 °C	Médiocre	Bonne
Lithium	150 °C	120 °C	Bonne	Bonne

3.1.3 Quelques règles de graissage

Il s'agit de choisir un lubrifiant convenable pour lubrifier au bon endroit, au bon moment et avec une quantité nécessaire. Le plan de maintenance préventive doit définir :

- la qualité et la quantité de lubrifiant ;
- la fréquence et la méthode de lubrification.

■ **Lubrification à la graisse**

La graisse est intéressante en raison de sa consistance :

- elle est retenue facilement au cours de la rotation du roulement et reste en contact avec des billes ou des rouleaux ;
- elle assure l'étanchéité du roulement.

La graisse est choisie comme lubrifiant pour les roulements qui fonctionnent dans les conditions normales de vitesse et de température. La lubrification à la graisse présente des avantages sur l'huile :

- elle permet une installation plus simple, donc moins coûteuse ;
- elle offre une meilleure adhérence et assure une protection contre l'humidité et les impuretés.

■ Lubrification à l'huile

La plupart des roulements classiques sont prévus pour être lubrifiés avec de la graisse. D'une façon générale, la mobilité de l'huile conduit à des fuites plus importantes qu'avec la graisse, à moins qu'une obturation mécanique ne soit assurée. L'huile ne protège pas toujours les roulements contre la rouille aussi efficacement que ne le fait une bonne graisse.
L'huile est utilisée parce qu'elle est nécessaire pour certains organes, par exemple engrenages, coussinets lisses, glissières, joints, etc.
L'huile offre les avantages suivants :

- c'est un lubrifiant plus stable et plus uniforme que la graisse ;
- en quantité suffisante, elle peut assurer une lubrification de longue durée ;
- le contrôle de l'état du lubrifiant est très facile ;
- l'examen de l'huile soutirée du palier permet de connaître le comportement du roulement.

D'autre part, l'huile remplace la graisse lorsque les températures de fonctionnement sont élevées. L'élévation de température provient d'un fonctionnement à grande vitesse, de fortes charges ou d'une température ambiante élevée. L'huile permet une évacuation efficace de la chaleur des roulements.

■ Qualité du lubrifiant

Le principal problème du graissage se situe dans le choix du lubrifiant qui convient le mieux. Cette détermination se fait en analysant en détail de nombreux points :

- la conception et la réalisation de la machine, en particulier les charges supportées, les vitesses, les jeux, la température, la puissance ;
- les conditions de fonctionnement : température très élevée ou très basse, présence de poussière ou d'humidité, de vibration ou de chocs ;
- les conditions mécaniques du matériel : matériel neuf ou sous garantie, matériel rodé et en bon état, matériel vieilli ;
- les systèmes de graissage : manuel, semi-automatique à huile perdue, semi-automatique à huile récupérée, automatique.

D'une manière générale on utilise la qualité courante pour la lubrification à huile perdue et la qualité supérieure pour la lubrification à huile récupérée.

Les règlements imposent parfois des lubrifiants spéciaux. C'est le cas par exemple des machines des industries alimentaires et pharmaceutiques où il y a un risque de contact avec les produits ou dans certaines industries où il y a un risque d'explosion.
La propriété prépondérante dans le choix d'un lubrifiant est la viscosité :

- vitesse importante : viscosité faible ;
- charge importante : viscosité importante ;
- température importante : viscosité importante ;
- jeu important : viscosité importante.

■ Quantité de lubrifiant

Un graissage excessif est souvent plus néfaste qu'un graissage insuffisant :

- dans les compresseurs : risque d'explosion ;
- dans les roulements : échauffement, destruction ;
- dans les engrenages : perte de puissance, échauffement.

Cette indication doit être définie à la conception de la machine en tenant compte de l'état du matériel (consommateur d'huile ou non).

■ Localisation

L'objectif est que le lubrifiant atteigne bien les organes à lubrifier. Le graissage centralisé est utilisé souvent pour les organes difficilement accessibles. Le repérage des points de graissage facilite la tâche de lubrification.

■ Périodicité (tableau 3.5)

Au cours du fonctionnement, le lubrifiant s'use et se détériore, il doit donc être remplacé à intervalles de temps réguliers et bien définis. L'apport est indispensable pour que la machine ait constamment du lubrifiant en quantité suffisante et en bon état.
La périodicité de graissage est déterminée en fonction :

- du type de matériel,
- des conditions de fonctionnement,
- des systèmes de lubrification.

On devra faire attention aux conditions d'environnement pour l'usage des cartouches de graissage automatique. La périodicité de remplacement n'est pas la même à température d'ambiance élevée et à basse température.

■ Classification des lubrifiants par domaine d'utilisation (tableau 3.6)

La norme ISO 6743 établit un système général de classification qui s'applique aux lubrifiants, huiles industrielles et produits connexes, désignés par la lettre préfixe L.

Tableau 3.5 – Périodicité de la lubrification.

Standard de périodicité*	P 2 à 8 h	J 8 à 24 h	H 50 à 150 h	M 200 à 600 h	T 600 à 1 800 h	S 1 800 à 2 400 h	A 2 400 à 7 200 h
Système de graissage							
Godets, graisseurs mèche, compte goutte (niveau)	H**						
Graisseur Stauffers (1 à 2 tours de vis)		G					
Graisseur Técalémit – Hydraulic (1 coup de pompe)		G					
Graisseurs « coups de poing » (3 à 4 coups)		H					
Graisseurs « clic clac » (burette)		H					
Organes à lubrifier							
Glissières (lubrification au pinceau, burette)		H					
Paliers lisses (niveau/appoint)		H	H/G	G			
Paliers à bagues : - niveau/appoint - remplacement			H		H	H	
Paliers à roulements : - moteurs électriques (appoint) - machines (appoint) - nettoyage et garnissage (1/3 de capacité de roulement)				G	G G	G	G
Réducteurs : - niveau/appoint - remplacement				H			H
Variateurs, poulies, boîte de vitesse, coupleurs : - niveau/appoint - remplacement			H	H		H	H
Engrenages nus, chaînes, câbles (lubrification au pinceau)			G/H	G/H			
Compresseurs : - niveau/appoint - remplacement			H	H	H	H	
Circuits hydrauliques : - niveau/appoint - remplacement			H	H		H	H

* P : poste. J : journalier. H : hebdomadaire. M : mensuel. T : trimestriel. S : semestriel. A : annuel.

** G : Graisse. H : Huile.

Un lubrifiant est désigné par le symbole suivant :

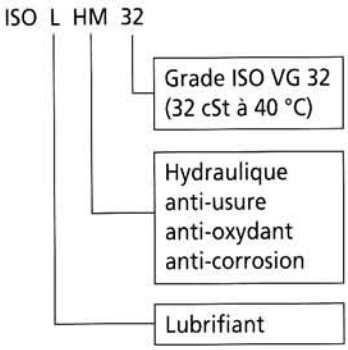


Tableau 3.6 – Classification des lubrifiants par domaine d'utilisation.

Lettre symbole	Application
A	Graissage perdu
B	Démoulage
C	Engrenages
D	Compresseurs, pompes à vide
E	Moteurs à combustion interne
F	Broches, paliers et embrayages associés
G	Glissières
H	Systèmes hydrauliques
M	Travail des métaux
N	Isolation électrique
P	Outils pneumatiques
Q	Transfert de chaleur
R	Protection temporaire contre la corrosion
T	Turbines
U	Traitement thermique
X	Application nécessitant l'emploi de graisse
Y	Autres applications
Z	Cylindres pour machine à vapeur

3.1.4 Lubrification dans les industries alimentaires et pharmaceutiques

Les États-Unis sont le seul pays à posséder une législation spécifique aux lubrifiants utilisés en industries alimentaires et pharmaceutiques.

■ En France

« Le fabricant d'aliments est responsable de la sécurité alimentaire des consommateurs » (article 11.4 de la loi du 1er août 1905, modifié par la loi du 21 juillet 1983).
La publication du *Journal officiel* n° 1227 de la Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) mentionne les textes de lois en vigueur et répertorie des listes positives de matériaux et substances chimiques autorisées à entrer en contact avec les denrées destinées à l'alimentation humaine.

■ Au niveau de la Communauté européenne

La directive 89/397/CEE du 14 juin 1989 est relative à l'hygiène alimentaire et aux contrôles officiels des denrées alimentaires. Les autorités compétentes doivent contrôler la conformité des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires et cela à tous les stades de la production (fabrication, traitement, entreposage, transport, distribution et commerce).

La directive 93/43/CEE du 14 juin 1993 est relative à l'hygiène alimentaire et aux modalités du respect des règles générales. Les mesures nécessaires doivent être prises pour garantir, à tous les stades de la production, la sécurité et la salubrité des denrées alimentaires.
Concernant les exigences de sécurité et d'hygiène à respecter lors de la construction des machines destinées à l'industrie agroalimentaire, un projet de norme a été déposé en juillet 1993 (CEN/TC 153 MN 108E). Il précise notamment que seuls des lubrifiants homologués peuvent être utilisés lors d'un contact avec les denrées alimentaires.

■ Aux États-Unis

La Food and Drug Administration (FDA) tient des listes de substances pouvant être utilisées dans la composition d'un lubrifiant en usage dans l'industrie alimentaire. Ces listes, dites positives, sont publiées dans le *Code of Federal Legislation* n° 21. C'est la base de la réglementation américaine. La FDA ne fournit pas d'homologation.
L'United States Department of Agriculture (USDA) accorde l'homologation pour des lubrifiants si la preuve est faite que toutes les matières entrant dans leur composition figurent sur les listes positives. Il prend en compte également les risques de combinaisons toxiques entre les différents constituants.
L'USDA délivre deux catégories d'homologation :

- USDA H1 : les compounds (matières composées) peuvent être utilisés comme lubrifiant ou film anticorrosif sur un équipement ou sur un organe de machine dont la partie lubrifiée est exposée occasionnellement, sans autres possibilités techniques, au contact des denrées alimentaires. Ces compounds peuvent donc entrer en contact accidentel avec les denrées alimentaires (fuites...).
- USDA H2 : les compounds peuvent être utilisés comme lubrifiant, agent séparateur ou film anticorrosif pour des appareils ou des organes de machines ou des systèmes fermés fonctionnant dans des conditions où le contact direct entre le lubrifiant et la denrée alimentaire est impossible.

3.1.5 Systèmes de lubrification

■ Pompe à graisse

Cet outil de base est très renommé dans l'industrie, un coup de pompe ordinaire donne une quantité d'environ 2,20 g de graisse.

■ Graisseur Stauffers

C'est un système très ancien avec un petit récipient rempli de graisse. La graisse est refoulée en vissant le couvercle à la main.

■ Centrale de graissage

Il s'agit d'une centrale de graissage à pompage manuel avec de la graisse ou de l'huile.

□ Pompe manuelle

- Support bride avec un levier de manœuvre servant de commande de la pompe.
- Bloc de pompe-inverseur : pompe à piston double effet, inverseur automatique, régleur de pression, filtre de refoulement.
- Contrôleur de cycle : compteur ou indicateur en registre qui signale un aller/retour complet du tiroir inverseur.
- Réservoir à graisse complètement étanche aux poussières et intempéries, avec reniflard, joints spéciaux, piston suiveur et tige indicatrice. Capacité standard : 5 kg (ou spécial 2 kg).
- Réservoir à l'huile avec flotteur et tige indicatrice de niveau. Capacité standard : 5 l (ou spécial 2 l).

La pression est réglable jusqu'à 160 bar.
La graisse utilisée est le n° NLGI inférieur ou égal à 2.
Le filtre est facilement démontable pour les nettoyages quotidiens.

□ Nourrices ou doseurs

La distribution est assurée par des pistons doseurs dont la course est visible et réglable.
Débit maximal : 1 cm^3.
Pression maximale : 175 bar, minimale : 5 bar.

■ Lubrification par barbotage

C'est une lubrification permanente des engrenages fonctionnant dans un carter fermé. Par exemple, réducteur, boîte de transmission, variateur de vitesse mécanique…

■ Cartouche de graissage automatique

Ce sont des cartouches « perma » contenant de la graisse ou de l'huile qui se montent directement sur des points à graisser, avec ou sans tube de connections. Lorsque la vis spéciale de mise en marche est serrée jusqu'à rupture de l'anneau, le générateur de gaz tombe dans le liquide électrolytique. La réaction chimique provoque la montée en pression (jusqu'à 3 ou 4 bar) qui pousse le piston vers le bas. Le lubrifiant est alors injecté en continu dans le point de graissage.
Selon les types, les durées de distribution sont déterminées pour 1 mois, 3 mois, 6 mois et 12 mois. La température de référence est de 20 °C. Il est évident que la durée de distribution diminue quand la température augmente (tableau 3.7).
Il est conseillé de placer un limiteur de débit entre le perma et le point de graissage si le lubrifiant utilisé est de l'huile.

■ Lubrification automatique

C'est une distribution d'huile contenue dans un réservoir sur plusieurs points à lubrifier. Il existe deux systèmes de lubrification automatique : lubrification cyclique ou lubrification continue.

Tableau 3.7 – Durée d'une cartouche de graissage automatique.

Température moyenne	Durée de distribution en mois			
	Type 1	Type 3	Type 6	Type 12
0 °C	4	8	15	> 18
+ 10 °C	2	5	8	18
+ 20 °C	1	3	6	12
+ 30 °C	0,8	2	3	6
+ 40 °C	0,6	1	2	3

En règle générale, le système de lubrification continue est choisi lorsque le débit minimal à un point du système est supérieur à 0,1 cm^3/min.
La pompe peut être automatique ou à commande manuelle dans le cas du système cyclique. Mais la pompe motorisée offre un réglage du temps de cycle permettant de contrôler avec précision la quantité d'huile distribuée.
Le système de distribution se compose des éléments suivants :

- doseurs pour système à faible débit ;
- injecteurs pour système continu ;
- jonctions : boîtier de dérivation de 2 à 14 départs ;
- raccords avec étanchéité par filetage conique ou bicône ;
- tuyauteries rigides ou flexibles : cuivre, acier, Rilsan ou Néoprène...

■ Centrale de lubrification

Elle est conçue pour une lubrification sous pression constante et un refroidissement éventuel de garniture mécanique avec liquide de barrage (figure 3.2).
Pression de service : de 3 à 50 bar.
Huile : minérale, viscosité de 3 à 5 Engler à 50 °C, indice de viscosité supérieur à 100.
Capacité réservoir : 50 litres.
L'accumulateur hydraulique est gonflé à 0,4 fois la pression de service demandée par la garniture mécanique.
L'huile refoulée par la pompe circule en direction de la boîte à garniture au travers du clapet antiretour 11, du filtre pression 14, du clapet antiretour 10 et alimente en huile sous pression l'accumulateur.
Une ligne de pilotage à faible débit maintient le clapet antiretour piloté 8 ouvert pour assurer la circulation du fluide dans la boîte à garniture et le retour au réservoir après passage au travers d'un limiteur 6 permettant le réglage de la pression d'utilisation.
En cas d'arrêts accidentels, le débit s'arrête à la pompe, les clapets 8, 10 et 11 se ferment et la réserve d'huile contenue dans l'accumulateur prend le relais de la

pompe en maintenant une pression suffisante sur la garniture mécanique, mais sans circulation.

Les équipements supplémentaires sont :

- un refroidisseur : refroidissement d'huile au retour ;
- une résistance électrique : régulation de la température d'huile du réservoir.

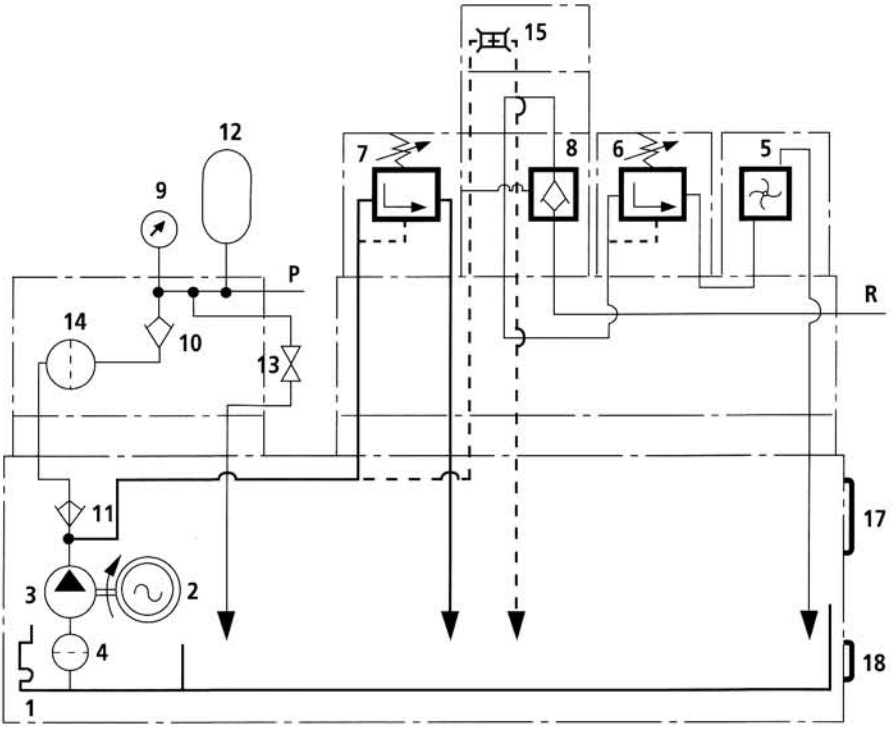


Figure 3.2 – Centrale de lubrification. 1. Réservoir. 2. Moteur électrique. 3. Pompe. 4. Filtre d'aspiration. 5. Indicateur d'écoulement. 6. Limiteur de pression. 7. Limiteur de pression. 8. Clapet antiretour piloté. 9. Manomètre. 10. Clapet antiretour. 11. Clapet antiretour. 12. Accumulateur hydraulique. 13. Robinet de compression. 14. Filtre de pression. 15. Étrangleur. 17. Indicateur de niveau. 18. Bouchon de vidange. P. Départ d'huile. R. Retour d'huile.

3.1.6 Analyse des huiles en service

Le lubrifiant est comparable au sang de la machine. Il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule.

Le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur des conditions d'exploitation de l'équipement. Elle va permettre d'optimiser les fréquences des vidanges, dans le cas de quantités importantes.

Le suivi de la contamination permet :

- de situer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes ;
- d'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.

On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare les résultats obtenus à chaque analyse. Si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs trop éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau de matériel, soit remplacer l'huile.

■ Vérifications quotidiennes

□ Examen de l'aspect

Un simple examen visuel de l'aspect du lubrifiant permet quelque fois de détecter une pollution :

- pollution par un liquide : aspect trouble dans le cas d'une pollution par l'eau, ou changement éventuel de couleur en cas de pollution par un liquide soluble dans l'huile ;
- pollution par des solides : présence de poussières, de particules métalliques, de rouilles, d'écailles de peinture, de débris de joints...

□ Observation de la couleur

L'observation de la couleur de l'huile peut aussi renseigner sur une forte dégradation du lubrifiant par oxydation ou par altération thermique.
Si la couleur de l'huile est très voisine de celle de l'huile neuve, en principe elle est en bon état. Et elle est considérée comme étant encore bonne si sa teinte reste claire et brunit légèrement. Mais quand la couleur est nettement foncée, elle est très oxydée et il faut envisager une vidange.
Il n'est pas normal qu'une huile industrielle noircisse en service ; une huile de moteur noircit parce qu'elle se charge des suies de la combustion. Si une huile industrielle noircit, il peut avoir un craquage de la molécule par suite :

- d'un chauffage avec une résistance électrique dont la puissance de chauffe dépasse 1 W/cm^2 ;
- du passage de l'huile dans une zone où la température dépasse 330 °C, au voisinage d'un four par exemple ;
- d'un phénomène de micro-diesel provoqué dans un circuit hydraulique par des bulles d'air brutalement comprimées sous haute pression.

L'huile en service peut prendre aussi d'autres colorations :

- jaune beurre : émulsion avec une huile de couleur ambre ;
- chocolat : émulsion avec une huile assez foncée, une huile moteur ;
- rouge : mélange avec un combustible ou une huile colorée en rouge, détérioration d'une peinture ou d'un produit anticorrosion ou détérioration d'un additif ;
- verte : détérioration d'une peinture verte ou attaque d'un organe en métal jaune.

☐ Sensation de l'odeur

En complément de la description de l'aspect et de la couleur de l'huile, on peut ajouter une appréciation de l'odeur.
Une huile en service ayant l'odeur d'un produit pétrolier est en bon état. Elle pourra avoir aussi des odeurs typiques des huiles neuves :

- odeur agréable d'amande amère de certaines huiles pour turbines ;
- odeur légèrement désagréable d'ail ou d'œuf pourri de certaines huiles de transmission.

Une odeur de rance indiquera une oxydation :

- l'huile est encore bonne si l'odeur est légère et si la couleur est claire ;
- si l'odeur est forte et la couleur est foncée, une vidange sera nécessaire.

Une odeur de brûlé signifie que l'huile a été soumise à des températures élevées :

- si la couleur est légère, l'huile est encore bonne ;
- si la couleur est foncée ou noire, il est nécessaire de faire une analyse. Et si l'on trouve des particules de charbon, une vidange, un nettoyage et une vérification de l'installation seront indispensables.

Une odeur chimique indique que l'huile a été polluée par certains produits, un solvant ou une huile synthétique. Une analyse en laboratoire sera utile.

☐ Test d'huile à la tache

Une goutte d'huile moteur déposée sur un papier filtre s'étale et présente les différentes zones circulaires suivantes (figure 3.3) :

- une ronde centrale plus ou moins grise ou noire (A) ;
- une auréole plus foncée limitant la partie centrale (B) ;
- une zone circulaire dans laquelle se diffusent les impuretés (C) ;
- une zone circulaire extérieure où l'huile seule pénètre (D).

Examens des taches :

- plus la tache centrale est foncée, plus la pollution est importante ;
- plus l'auréole est large et grise, plus l'huile conserve ses propriétés détergentes.

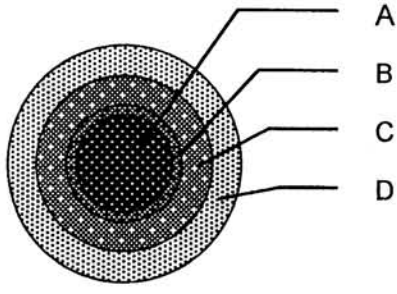


Figure 3.3 – Tache d'huile.

□ Examen de teneur en sédiments

Dans la pratique, ces examens visuels se font quotidiennement comme les vérifications de niveau.
Les particules solides augmentent la vitesse d'usure du matériel. Si l'examen visuel fait apparaître la présence de ces particules, on procédera à la détermination de la teneur en sédiments. Elle est déterminée par filtration d'une quantité importante de l'échantillon d'huile sur une toile en Nylon de 1 à 5 µm de porosité. La toile est pesée avant l'opération. Après filtration, elle est rincée à l'hexane puis repesée pour déterminer le pourcentage de sédiments. Une observation du dépôt sur la toile Nylon est effectuée au microscope.

■ Appareils portatifs d'analyse

Il existe des appareils simples destinés à évaluer approximativement la pollution de l'huile.

□ Système millipore

L'échantillon de 100 ml d'huile à tester traverse une membrane de 5 µm logée dans un ensemble de filtration. L'état de pollution est apprécié par la coloration de la surface du filtre test. L'évolution de la pollution est suivie par l'évolution de la coloration.

□ Système comparscope

Les particules présentes dans l'huile sont arrêtées par une membrane quadrillée de 0,8 µm et examinées à l'aide d'un microscope. L'appréciation de l'état de pollution de l'huile se fait à partir de la comparaison de celui de la membrane par rapport à la plaque étalon de référence.

■ Examens en laboratoire

□ Dosage de l'eau

L'eau peut être introduite dans le circuit d'huile de plusieurs façons : une fuite de réfrigérant, un passage de vapeur dans une huile turbine, un passage de fluide de coupe aqueux dans une huile de lubrification de machine outil, un mauvais stockage, etc.
L'eau détruit la qualité d'un lubrifiant, elle favorise le vieillissement de l'huile et la corrosion des métaux.
La teneur en eau est déterminée à l'hydrotest. Cette méthode est basée sur la mesure de volume d'hydrogène résultant de l'action de l'eau contenue dans l'huile échantillon sur un excès d'hydrure de calcium.
La coulométrie apporte plus de précision. Cette méthode est basée sur la mesure de la quantité de courant électrique proportionnelle à la quantité d'eau contenue dans l'échantillon.

☐ Dosage des métaux d'usure

Les teneurs en métaux d'usure fournissent des renseignements précieux sur les conditions de fonctionnement du matériel. Leur évolution permet de détecter des usures anormales et d'intervenir avant incident.

La spectrométrie d'émission à torche à plasma d'argon est utilisée pour doser les métaux d'usure.

Un courant d'argon circule dans un tube de quartz porté à très haute température (de l'ordre de 10 000 K) par une décharge électromagnétique. Les chocs violents entre les atomes provoquent des arrachements d'électrons et on obtient un mélange d'atomes, d'électrons libres, et d'ions positifs. Ce plasma d'argon se présente comme une torche qui émet de la lumière.

La solution d'échantillon d'huile est nébulisée dans un autre courant d'argon. Les électrons des éléments à doser sont portés à un niveau d'énergie supérieur par la torche à plasma. Au retour à l'état normal, ces électrons restituent de l'énergie sous forme de rayonnement dont la longueur d'onde est spécifique de chaque élément. Un polychromateur isole chacun de ces rayonnements. Un photomultiplicateur convertit chaque rayonnement en courant électrique. La teneur d'un élément à doser est déduite de l'intensité du courant électrique.

Les principaux métaux couramment représentatifs de l'usure sont l'étain Sn, le plomb Pb, le fer Fe, le chrome Cr, l'aluminium Al, le cuivre Cu.

Une bonne interprétation des dosages de métaux d'usure nécessite une bonne connaissance des composants en contact avec l'huile. Il est intéressant de pouvoir comparer les analyses antérieures du même circuit d'huile.

☐ Comptage de particules

Les particules solides peuvent provenir d'un défaut de rinçage du circuit à l'origine, d'une filtration insuffisante de l'huile neuve lors du remplissage, de l'usure des pièces en frottement, de la pollution externe.

Le comptage automatique se fait sur le compteur HIAC. L'huile circule à une vitesse déterminée dans un tube disposé perpendiculairement à un faisceau lumineux. Un photodétecteur enregistre la variation d'intensité lumineuse au passage de chaque particule. Le capteur détecte donc le nombre et les dimensions des particules. Ces informations sont transmises à un compteur qui classe les particules suivant leurs tailles :

- de 5 à 15 µm ;
- de 15 à 25 µm ;
- de 25 à 50 µm ;
- de 50 à 100 µm ;
- supérieur à 100 µm.

☐ Mesure de moussage

La mousse peut se former à la surface de l'huile lorsqu'il y a introduction d'air par agitation mécanique ou soufflage. Le moussage favorise l'oxydation par l'augmentation de la surface de contact air-huile et peut entraîner parfois le déborde-

ment de la bâche. Un très fort moussage peut désamorcer une pompe de lubrification.

Selon la norme Afnor NF T 60-129, une éprouvette en verre graduée de 1 000 ml, contenant 190 ml d'échantillon d'huile, est soumise pendant 5 min à un soufflage d'air de 95 ml/min à travers une sphère poreuse. Puis l'échantillon est laissé au repos.

La tendance au moussage est représentée par le volume de mousse formé après 5 min de soufflage.

La persistance de la mousse est le volume de mousse restant après 10 min de repos.

La mesure de moussage s'effectue en trois séquences :

- séquence 1 : essai à 24 °C ;
- séquence 2 : essai à 93 °C ;
- séquence 3 : essai à 24 °C sur l'échantillon venant de subir 93 °C.

☐ Mesure de désaération

Sous l'effet d'une forte agitation mécanique ou d'un fort soufflage d'air, des bulles d'air sont dispersées dans le volume d'huile. Cette aération peut comporter des inconvénients :

- diminution de la portance du film d'huile ;
- accroissement de la vitesse d'oxydation par augmentation de la surface de contact air-huile ;
- augmentation de la compressibilité de l'huile d'où une élévation de la température et une aggravation de l'oxydation ;
- risque de cavitation.

Le temps de désaération représente l'aptitude de l'huile à libérer l'air préalablement dispersé.

La mesure est effectuée en suivant la norme Afnor NF T 60-149 à 50 °C. De l'air sous pression de 200 mbar est soufflé, à un débit de 180 ml/min, dans l'huile à travers une buse de 2 mm de diamètre et pendant 7 min. Immédiatement après le soufflage, le plongeur d'une balance hydrostatique est introduit dans cette huile saturée en air. Grâce à cette balance, on peut suivre toutes les minutes la masse volumique de l'huile en cours de désaération. Et on en déduit le pourcentage en volume d'air dispersé.

Le temps de désaération est le nombre de minutes nécessaires pour que le pourcentage en volume d'air dispersé ne soit plus que de 0,2 %.

☐ Mesure d'indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour neutraliser les constituants acides présents dans un gramme d'huile.

L'indice d'acide est mesuré par titration en suivant la norme Afnor NF T 60-112 ; la fin de la réaction est décelée par un changement de couleur de l'indicateur.

La méthode ASTM D 664 utilise le pH-mètre. Cet indice d'acide est appelé TAN *(Total Acide Number)*.

L'oxydation d'un lubrifiant entraîne la formation de produits acides. L'indice d'acide peut donc être une donnée utile pour évaluer l'oxydation. Mais il est à utiliser avec prudence parce qu'une bonne huile neuve peut avoir un indice acide élevé dû à la présence de certains additifs.

□ Mesure du point d'éclair

Le point d'éclair d'une huile est la température minimale à laquelle il faut la porter pour que les vapeurs émises s'allument spontanément en présence d'une flamme. L'intérêt essentiel du point d'éclair est qu'il renseigne sur un éventuel risque d'incendie.

La norme Afnor NF T 60-103 décrit la méthode de détermination du point d'éclair : en vase clos dans un creuset équipé d'un couvercle muni d'une cheminée au-dessus de laquelle est présentée la flamme d'une veilleuse. L'huile contenue dans le creuset est chauffée progressivement et à une vitesse bien définie. Le point d'éclair est la température au moment où se produit un éclair provoqué par l'inflammation des vapeurs d'huile.

Un abaissement du point d'éclair peut signifier une pollution par un gaz ou par un liquide plus volatil que l'huile, il peut aussi signifier un début de cracking, par exemple dans le cas d'un fluide caloporteur.

□ Mesure de rigidité électrique

La rigidité électrique ou tension de claquage est la propriété que possède une huile isolante d'empêcher la formation d'un arc sous l'effet d'un champ électrique intense.

Selon la norme NF C 27-221, la méthode d'essai consiste à appliquer entre deux électrodes distantes de 2,5 mm et immergées dans l'huile concernée, une tension alternative de fréquence de 50 Hz. La tension est augmentée progressivement jusqu'à ce que se produise une décharge disruptive.

La rigidité électrique peut être abaissée par la présence d'eau et de matière en suspension. Un traitement éventuel de séchage et de filtration est à prévoir.

■ Règles de prélèvement d'huile

L'application de quelques règles simples permet d'avoir un échantillon approprié, quelle que soit l'analyse :

- Effectuer le prélèvement par la prise de contrôle ou mieux par une vanne spéciale en un point dont le régime d'écoulement est turbulent. Éviter de recueillir les volumes d'huile piégés dans la zone morte.
- Prélever l'échantillon lorsque le matériel est en cours de fonctionnement ou immédiatement après son arrêt.
- Ne pas recueillir le premier soutirage à la purge, ni à la fin de la vidange. Laisser couler de 0,5 l environ avant de remplir le flacon.
- Le flacon d'échantillon doit être propre et sec (fourni par le laboratoire) et ouvert seulement au moment de son remplissage.
- Éviter le prélèvement dans la bâche à l'arrêt.

Il est important de joindre à l'emballage partant au laboratoire quelques éléments :

- références de la machine ;
- référence de l'huile ;
- nombre d'heures d'utilisation d'huile depuis son remplacement ;
- nombre d'heures de fonctionnement de la machine ;
- interventions importantes effectuées depuis les derniers prélèvements.

■ Fréquence de prélèvement d'huile

La fréquence de prélèvement (tableau 3.8) doit être fixée en fonction de la criticité du matériel concerné et des éléments suivants :

- la charge permanente appliquée au matériel ;
- la pollution éventuelle du lubrifiant par l'environnement ;
- la pollution éventuelle du lubrifiant par le process ;
- le rapport coût/efficacité ;
- le dysfonctionnement de l'organe, décelé par le personnel d'entretien ou de production.

Tableau 3.8 – Fréquence moyenne de prélèvement d'huile.

	Fonctionnement en continu	Fonctionnement intermittent
Matériels hydrauliques	2 000 heures	2 fois par an ou 2 000 heures
Turbine à gaz	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Turbine à vapeur	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Compresseurs rotatifs	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Compresseurs alternatifs	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Machines mouvements alternatifs	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Réducteurs	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures
Transformateurs de puissance		1 fois par an
Caloporteurs		1 fois par an
Motocompresseurs à gaz	1 000 heures	2 fois par an ou 1 000 heures
Moteurs à gaz	250 à 500 heures	
Moteurs diesels	750 heures	2 fois par an ou 750 heures
Compresseurs frigorifiques	1 500 heures	2 fois par an ou 1 500 heures

■ **Vidange**

Pour une lubrification de faible quantité, la vidange régulière doit se faire tous les 6 000 heures ou une fois par an.
La vidange d'un carter doit se faire si possible, dès l'arrêt de la machine. L'huile est encore chaude et s'écoule complètement. Les impuretés solides n'ont pas de temps de se déposer.
Il faut observer et apprécier visuellement la présence des sédiments dans l'huile usagée. En principe, le rinçage d'un circuit d'huile n'est pas nécessaire, sauf en présence de dépôts. Le rinçage devra être suivi d'une opération de séchage pour éviter la présence d'eau.

3.2 Analyse vibratoire

3.2.1 Principes

■ **Vibrations et forces internes**

Les vibrations d'une machine peuvent être considérées comme une manifestation extérieure des forces internes. En effet l'analyse de leurs signaux donne des informations sur les processus de dégradations internes.
Il existe deux niveaux d'investigation :

- la mesure de niveau global permet de qualifier un état général par comparaison à des normes ou à des mesures précédentes ;
- l'analyse spectrale permet de diagnostiquer l'origine des défauts et de suivre l'évolution en fonction du temps.

■ **Mesure de niveau global**

Tout phénomène vibratoire se manifeste par l'un des trois paramètres suivants :

- *déplacement* : phénomène de basse fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 200 Hz (balourd, fouettement...) ;
- *vitesse* : phénomène de moyenne fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 1 000 Hz (balourd, alignement, chocs, aubages...) ;
- *accélération* : phénomène de haute fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 10 000 Hz (roulements, engrènements, turbulence...).

La mesure de niveaux globaux de ces trois paramètres permet d'apprécier l'état de la machine :

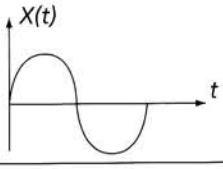
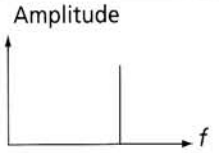
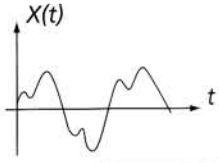
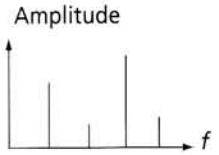
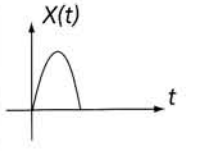
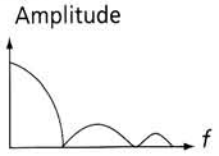
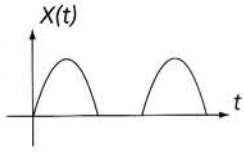
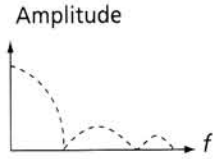
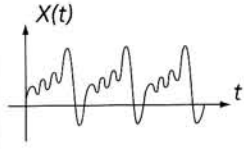
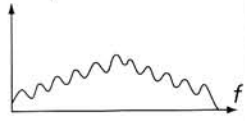
- l'évolution significative d'une dégradation ;
- la comparaison à des seuils.

■ **Analyse spectrale**

Le diagnostic vibratoire est basé sur l'identification de la fréquence de la vibration générée par un phénomène mécanique.
La méthode mathématique permet de représenter, en effectuant la transformée de Fourier, le signal complexe de la vibration par un spectre fréquentiel.

Selon la nature du signal vibratoire, on obtient un spectre de raies discrètes ou un spectre continu.
Le spectre se représente sous forme d'un graphique montrant l'amplitude à chaque fréquence.

Tableau 3.9 – Différents types de vibrations.

Nature de vibration	Forme temporelle	Forme spectrale	Phénomène générateur
Sinusoïdale			Balourd
Sinusoïdale complexe			Effort dynamique d'engrènement
Transitoire			Explosions, Marteaux-pilons, Laminoirs
Transitoire périodique			Presse automatiques, Cames
Aléatoire			Oscillations de pression exercées sur une structure baignant dans un fluide en écoulement

☐ Vibration périodique non harmonique

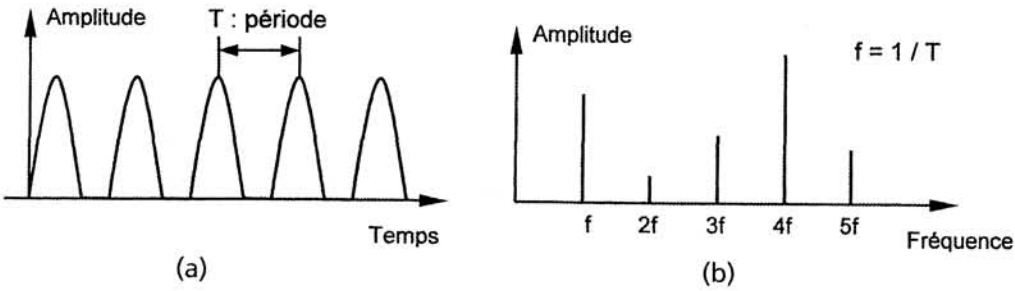


Figure 3.4 – (a) Signal temporel et (b) forme spectrale.

■ Amplitude

L'amplitude d'une onde est la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre. On définit (figure 3.5) :

- l'amplitude de crête A_c : l'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre ;
- l'amplitude de crête à crête A_{cc} : l'amplitude double ;
- l'amplitude efficace A_{eff} : le niveau efficace ou le RMS *(Root Mean Square)*.

$$A_{eff} = \frac{A_c\sqrt{2}}{2} = 0{,}707A_c$$

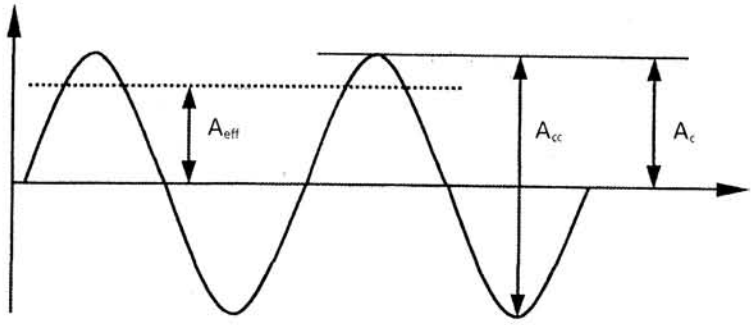


Figure 3.5 – Signal périodique.

■ Fréquence

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète pendant une unité de temps.

Hz : nombre de cycles par seconde.

CPM : nombre de cycles par minute.

RPM : nombre de rotations par minute.

Ordre : nombre de cycles par révolution.

3.2.2 Méthodes de mesure



Figure 3.6 – Matériel de mesure et d'analyse des vibrations. (Photo © Schenck.)

L'ensemble complet de mesure et d'analyse comporte (figure 3.6) :

- un capteur,
- un collecteur de données,
- un calculateur ou un micro-ordinateur avec un logiciel d'exploitation.

■ Capteurs de vibration

Le rôle des capteurs est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Il existe deux grandes familles de capteurs, les absolus (accéléromètres, vélocimètres) et les relatifs (proximètres).

□ Accéléromètre

Il est constitué principalement d'un matériau piézo-électrique (habituellement une céramique ferro-électrique artificiellement polarisée). Lorsque ce matériau subit une contrainte mécanique, en extension, compression ou cisaillement, il engendre une charge électrique proportionnelle à la force appliquée. Le capteur piézo-électrique ou l'accéléromètre sont les plus utilisés en raison de leur large gamme de fréquences d'utilisation (figure 3.7).
Les différents types d'accéléromètres sont destinés :

- aux mesures axiales ;
- à la surveillance continue ;
- à l'utilisation à haute température ;
- à la mesure de chocs de fortes intensités…

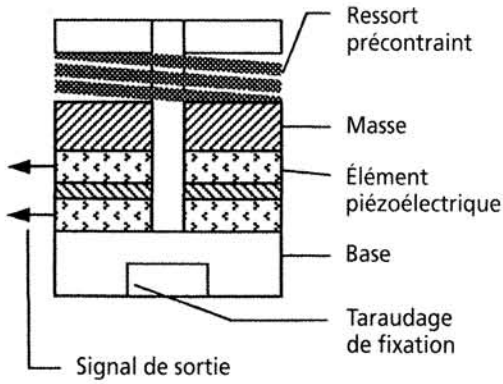


Figure 3.7 – Capteur piézo-électrique.

□ Vélocimètre

C'est un capteur électrodynamique, autogénérateur d'une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine (figure 3.8).
Le mouvement de la pièce métallique dans les spires provoque une variation du flux, donc une induction de courant dans la bobine.
Avantages :

- pas d'amplificateur à haute impédance, ni d'électronique d'excitation,
- signal de sortie de haut niveau et de faible impédance.

Inconvénients :

- pièce métallique en mouvement (usure),
- sensibilité latérale,
- faible bande passante (10 à 1 000 Hz).

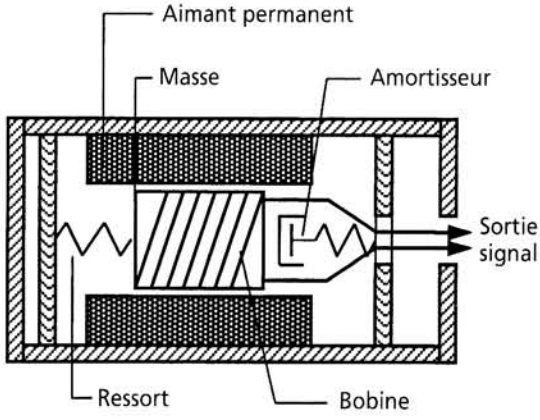


Figure 3.8 – Capteur électromagnétique.

□ Capteur de déplacement

Le pont d'impédance est alimenté par un oscillateur de fréquence supérieure à 100 kHz. La partie variable du pont est constituée par un self.
Le pont est équilibré lorsqu'il n'y a pas de tension aux bornes du démodulateur. Dès qu'il y a une modification de l'impédance de la bobine, il y a un déséquilibre du pont, donc une tension aux bornes du démodulateur à la fréquence de l'oscillateur. Cette tension est proportionnelle à la distance entre la cible et la bobine (figure 3.9).

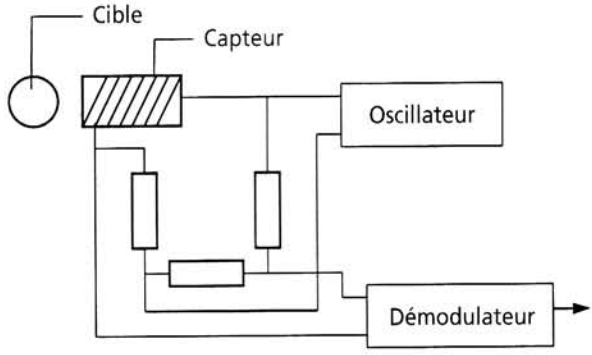


Figure 3.9 – Capteur de déplacement.

Avantages :

- mesure sans contact,
- mesure en continu (il existe un signal pour une fréquence nulle),
- mesure réelle du déplacement de l'axe dans son logement.

Inconvénients :

- sensible aux hautes fréquences,
- qualité de mesure dépendant de la qualité de surface,
- phase relative des vibrations de l'arbre et du palier influençant la mesure,
- implantation difficile.

■ Collecteurs de données portables

Ces appareils présentent l'ensemble des mesures : déplacement, vitesse et accélération. Ils contiennent une mémoire interne importante pour stocker les données et permettent une communication facile avec un ordinateur.
Les paramètres de choix sont essentiellement les fonctions de gestion des circuits de mesure, le dialogue avec l'opérateur, l'ergonomie et le poids.
Certains appareils proposent des fonctions correctives supplémentaires comme l'équilibrage sur site ou le lignage d'arbre au laser.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ Logiciels de traitement

Les logiciels associés aux électroniques de mesure assurent le stockage des données, la mise à jour des historiques, la configuration des appareils, l'établissement des courbes de tendance, l'élaboration de rapports, la gestion des alarmes et aident aux diagnostics.
Par ailleurs, ils possèdent aussi les fonctions nécessaires à leur intégration dans le système de communication existant (Ethernet, Modbus, Profibus...).

■ Surveillance continue

Une installation de surveillance continue (figure 3.10) permet :
- la comparaison des mesures continues avec les seuils d'alarme et d'arrêt ;
- la possibilité d'avoir n canaux de filtrage, donc d'assurer une surveillance de n gammes de fréquences.

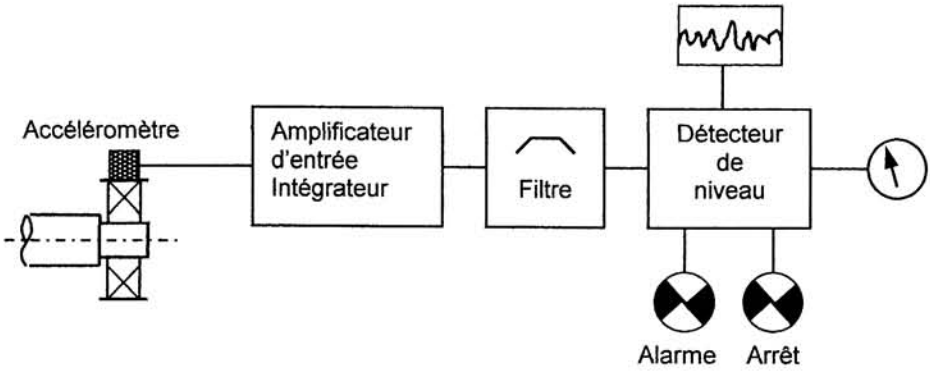


Figure 3.10 – Système de surveillance continue.

■ Points de mesure

□ Localisation

Les interférences entre vibrations d'origines différentes rendent l'exploitation des relevés très délicate. L'accéléromètre devrait être monté de telle façon que la direction de mesure désirée coïncide avec l'axe de sensibilité principal. Les accéléromètres sont légèrement sensibles aux variations transversales mais ce point peut être négligé puisque la sensibilité transversale est inférieure à 1 % de celle de l'axe principal.
Si la machine le permet, les mesures se font suivant les trois axes : axial, horizontal et vertical (figures 3.11 et 3.12).

□ Supports de montage (tableau 3.10)

Les capteurs peuvent être fixés en permanence ou simplement mis en contact par une pointe de touche lors d'une mesure. Les supports de montage influencent la fréquence de résonance.

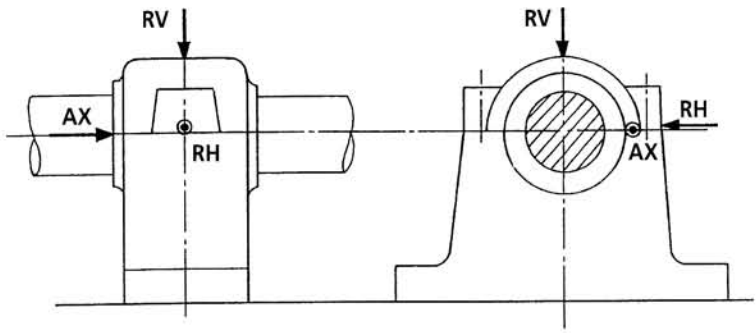


Figure 3.11 – Points de mesure.

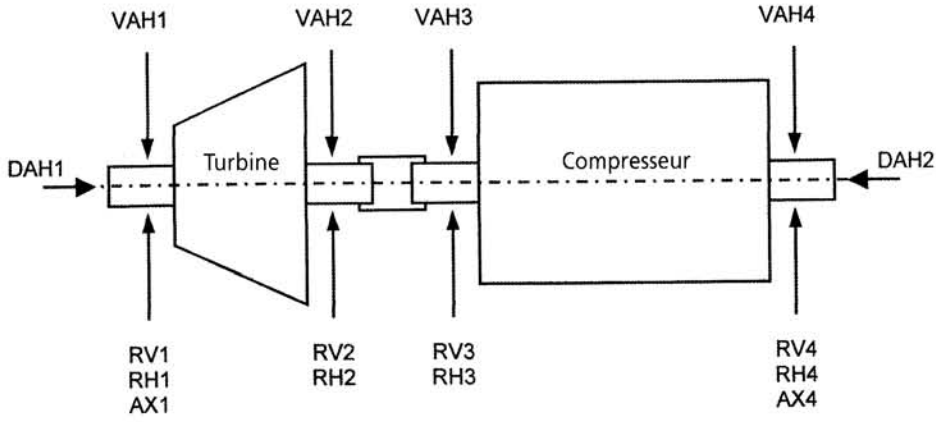


Figure 3.12 – Exemple de mesure de vibration d'un turbocompresseur.
Capteurs d'accélération : RV, RH et AX (radial vertical, radial horizontal et axial).
Sondes de proximité : DAH et DAV.

Tableau 3.10 – Supports de montage et fréquences de résonance.

Support de montage	Fréquence de résonance
Goujon fileté	31 kHz
Collage par cire d'abeille	29 kHz
Colle époxy ou cyanocrylate	28 kHz
Goujon isolé ou rondelle de mica	28 kHz
Aimant permanent	7 kHz
Point de touche	2 kHz

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

3.2.4 Caractéristiques des mesures spectrales

Le spectre doit être configuré de sorte qu'il permette de mettre en évidence tous les défauts possibles de la machine et leur gravité. Ses caractéristiques principales devront être déterminées en fonction du type de machine analysée :

- la résolution ou la précision de mesure ;
- la plage de fréquence ou la fréquence maximale.

■ Résolution

La résolution caractérise la précision de la mesure. Une précision élevée est nécessaire s'il faut distinguer deux pics très proches l'un de l'autre. La résolution s'exprime en nombre de lignes spectrales : 100, 200, 400, 800, 1 600, 3 200, 6 400 lignes.

Pour les arbres tournant aux vitesses suivantes :

- Vitesse < 2 000 RPM : 1 600 lignes
- 2 000 RPM < Vitesse < 4 000 RPM : 3 200 lignes
- Vitesse > 4 000 RPM : 6 400 lignes

■ Plage de fréquence

Les défauts des différentes machines ne se présentent pas dans la même plage de fréquence. Cette plage devra être choisie en fonction des types de défaut possibles (tableau 3.11 et figure 3.13).

3.2.5 Mise en œuvre

■ Définition des alarmes

□ Seuils d'alarme en basse et moyenne fréquence

La norme ISO 2372 définit les seuils de vitesses efficaces selon les types de machines (figure 3.14) :

- groupe K : petites machines jusqu'à 15 kW ;
- groupe M : machines moyennes de 15 à 75 kW ou jusqu'à 300 kW sur fondations spéciales ;
- groupe G : machines lourdes sur fondations rigides et lourdes dont la fréquence naturelle dépasse la vitesse de la machine ;
- groupe T : machines lourdes fonctionnant à des vitesses supérieures à la fréquence naturelle de leurs fondations (cas des turbomachines).

□ Seuils d'alarme en haute fréquence

On définit les seuils d'alarme en fonction de la vitesse de rotation et du diamètre de l'arbre (ou du type de roulement) (tableau 3.12).

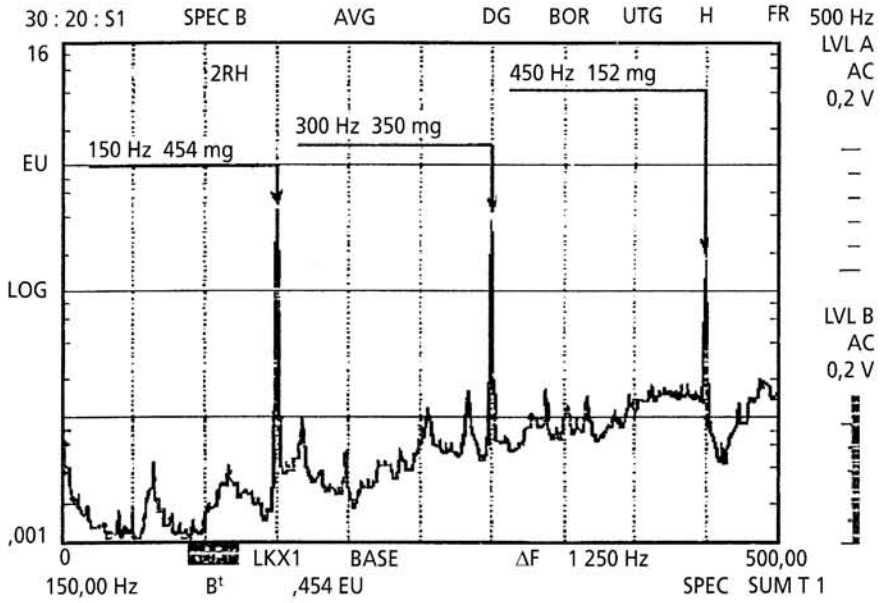


Figure 3.13 – Signal de vibration.

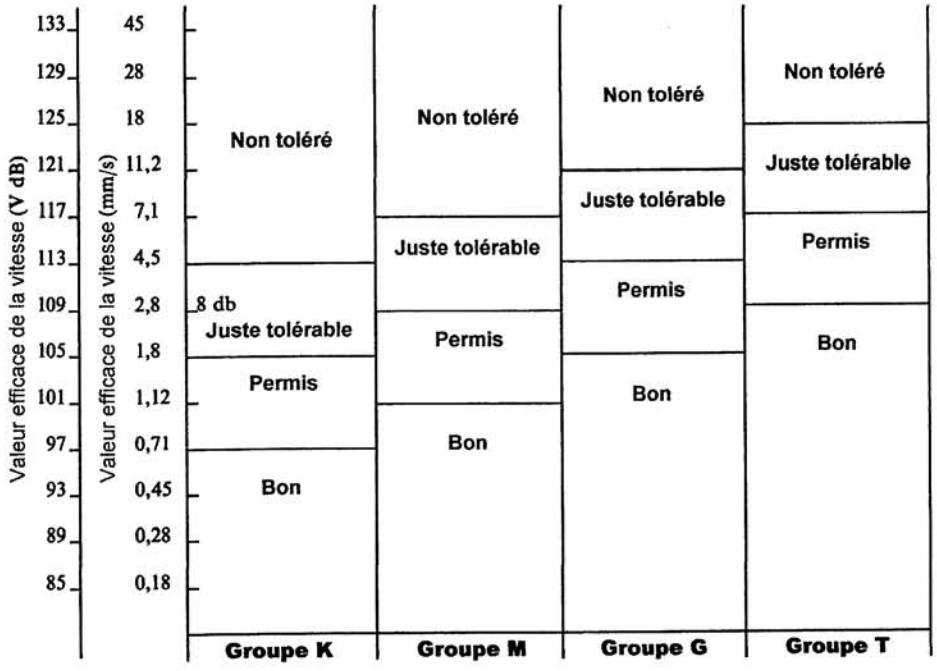


Figure 3.14 – Seuils d'alarme en basse et moyenne fréquence.

Tableau 3.11 – Reconnaissance des principales anomalies.

Anomalie	Vibration		Remarque
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	de 0,42 à 0,48 FR	Radiale	Uniquement sur paliers lisses hydrodynamiques à grande vitesse
Balourd	1 × FR	Radiale	Intensité proportionnelle à la vitesse de rotation. Déphasage de 90° sur deux mesures orthogonales.
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 × FR	Radiale	Aucun déphasage sur deux mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2 × FR	Axiale et radiale	Vibration axiale en général plus importante si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3, 4 × 50 Hz	Axiale et radiale	Disparaît dès la coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique du rotor	Radiale	Apparaît en régime transitoire et s'atténue ensuite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4 × FP	Radiale	
Engrenage endommagé	FE = nombre de dents × FR arbre	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement.
Faux-rond pignon	F ± FR pignon	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement dues aux faux-ronds
Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Axiale et radiale	
Détérioration de roulement	Haute fréquence	Axiale et radiale	Ondes de choc dues aux écaillages

FR : fréquence de rotation. FE : fréquence d'engrènement. FP : fréquence de passage de la courroie.

Tableau 3.12 – Seuils d'alarme en accélération pour les paramètres hautes fréquences.

Vitesse	300 RPM		1 000 RPM		2 000 RPM		4 000 RPM	
Réf. roulement/ diamètre d'arbre	Alerte	Alarme	Alerte	Alarme	Alerte	Alarme	Alerte	Alarme
XXX05/∅ 25	0,06	0,21	0,35	1,1	0,77	2,5	2,1	6,6
XXX20/∅ 100	0,17	0,5	0,9	2,8	2,1	6,4	5,6	17,0
XXX40/∅ 200	0,3	0,9	1,6	5,0	3,4	10,0		
XXX80/∅ 400	0,45	1,4	2,4	7,6				

■ Sélection des machines

La mise en place demande en premier lieu la sélection des machines à suivre en contrôle vibratoire. On utilise des critères de production, suivis des critères des coûts et des puissances (tableau 3.13).
Les machines choisies sont celles qui remplissent l'un des critères.

■ Périodicité de contrôle

La périodicité de contrôle sera fonction du taux d'engagement de la machine. Elle est trimestrielle pour un fonctionnement normal. La fréquence de contrôle doit être augmentée dès qu'il y a un signe de dégradation.

Tableau 3.13 – Critères de sélection des machines.

Critères de production	ou	Critères des coûts	ou	Critères des puissances	
Matériel dont l'arrêt entraîne l'arrêt total de production		Très coûteux		Grande puissance	Oui
Matériel dont l'arrêt entraîne un ralentissement de production ou une dégradation de qualité		Coûteux		Moyenne puissance	Oui/Non
Matériel dont l'arrêt perturbe peu		Peu coûteux		Faible puissance	Non

3.3 Thermographie infrarouge

3.3.1 Principe

■ Principe de base

Tout corps dont la température est supérieure à zéro degré absolu émet un rayonnement électromagnétique. Et on est capable de détecter ce rayonnement sous la forme de sensation de chaleur.

La thermographie infrarouge est la technique permettant de mesurer, par l'intermédiaire d'un détecteur, la puissance du rayonnement électromagnétique dans le spectre des infrarouges, émis par chaque point d'une scène ou d'un objet observé. Le détecteur ou caméra infrarouge reçoit ce rayonnement, le convertit en signal électrique et reconstitue sur un écran une image thermique visible de l'objet émetteur. Cette image est le thermogramme.

Le thermogramme est constitué par l'ensemble des points de valeurs de mesures thermiques. Ces valeurs thermiques (en °C) sont obtenues par transcription des valeurs radiométriques données par la caméra infrarouge (figure 3.15).

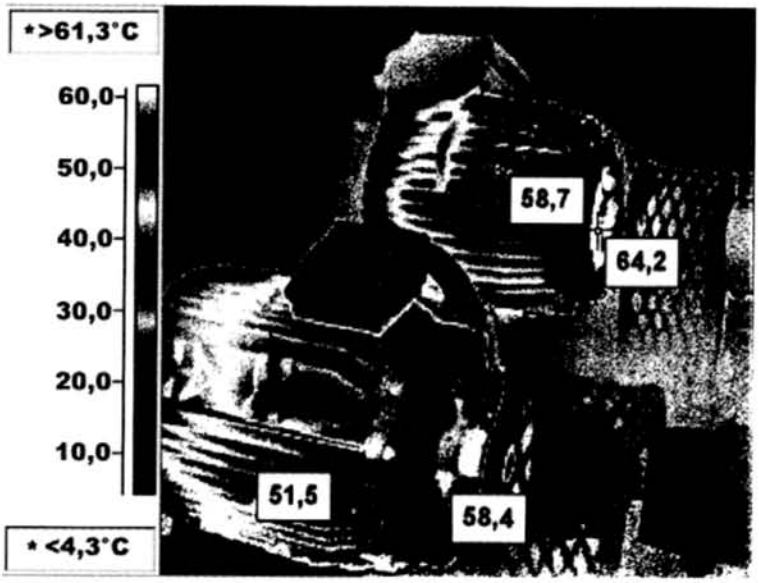


Figure 3.15 – Thermogramme de deux moteurs.

Il y a deux concepts totalement différents du contrôle thermographique :

- s'il s'agit de reconnaissance de forme, de surveillance ou de localisation de défauts, l'imagerie infrarouge est suffisante ;
- s'il s'agit d'usages multiples, la mesure radiométrique transcrite en température vraie est nécessaire.

Cette technique est utilisée depuis longtemps dans le domaine militaire et médical. Le deuxième concept apporte des applications très intéressantes pour la maintenance dans les domaines industriels et tertiaires.

■ Chaîne de mesure

Un ensemble de mesure est composé d'un capteur de mesure étalonné et d'un calculateur permettant de transporter les mesures de rayonnement en température. Il incombe à l'opérateur d'entrer les paramètres d'influences nécessaires au calcul.
Le thermogramme est directement compréhensible par l'opérateur de thermographie. Cependant, il y a un certain nombre de précautions à prendre pour pouvoir faire une analyse complète et la plus juste possible.
La mesure par thermographie se base sur les rayonnements infrarouges émis par la surface directe des objets. Les parois métalliques, en verre ou en plexiglas ne laissent pas passer ces rayonnements. Il est important de déplacer les protections ou capots qui empêcheraient une mesure correcte, ou de prévoir des hublots de visualisation si l'objet n'est pas directement accessible.
La mesure peut être perturbée par certains environnements : présence de source chaude, émissivité très basse, état de la charge, condition d'utilisation de l'installation, soleil, vent... Il est indispensable de tenir compte du réglage des paramètres objets.

■ Bande spectrale des capteurs

La bande spectrale utilisée en infrarouge se situe entre 2 µm et 15 µm. Pour pouvoir balayer l'ensemble de cette bande, il existe deux gammes de caméras infrarouges :

- caméras « ondes courtes » : de 2 à 5 µm,
- caméras « ondes longues » : de 7,5 à 13 µm.

Pour la plupart des diverses applications de maintenance et à faible distance (moins de 100 m), la caméra ondes courtes est généralement utilisée. Cette bande spectrale permet de fournir des thermogrammes bien contrastés à partir de faibles températures.
Pour des applications à longue distance (supérieure à 100 m), le détecteur à utiliser sera une caméra ondes longues.

3.3.2 Inspections

■ Surveillance des installations électriques sous tension

Les défauts des installations ou matériels électriques sous tension se traduisent souvent par des échauffements anormaux.
Ces défauts sont :

- un mauvais serrage de fixation ;
- une cosse mal sertie ;
- un contact trop résistant ou défectueux ;
- une connexion mal réalisée ;
- un appareillage défectueux.

Le thermogramme fait apparaître les échauffements et les écarts de température. Le point le plus chaud est ainsi décelé, ce qui localise précisément le défaut.
En termes de maintenance préventive, l'inspection annuelle est utile pour des matériels électriques de criticité importante, des armoires électriques et des cellules d'arrivée et de distribution électrique.

■ **Inspection des briques réfractaires d'un four**

On utilise la thermographie infrarouge pour déterminer :

- le défaut d'isolation,
- l'usure des briques de revêtement,
- le pont thermique,
- la fuite de chaleur.

■ **Inspection des réseaux de chauffage**

L'observation globale d'un réseau de chauffage urbain peut être réalisée par une prise de vue aérienne pour détecter :

- le pont thermique,
- le défaut d'isolation,
- la fuite.

■ **Inspection des bâtiments**

Dans ce domaine, la thermographie infrarouge permet d'expertiser :

- le pont thermique,
- le défaut d'isolation,
- l'humidité.

■ **Inspection des tuyauteries**

Les tuyauteries transportant les fluides, les divers gaz ou l'eau glycolée sont calorifugées, le plus souvent en coquille de laine minérale, polyuréthanne et enrobées de protection. Il n'est pas commode de tout ouvrir pour contrôler l'état des canalisations qui sont placées en hauteur ou en galerie.
La thermographie infrarouge équipée d'un téléobjectif permet de vérifier l'état des tuyauteries jusqu'à 100 m et de chercher :

- les zones abîmées,
- la corrosion,
- le défaut de protection.

3.3.3 Contrôle des procédés industriels

■ **Contrôle de soudage**

En métallurgie, le capteur analyse et contrôle en temps réel les températures des divers procédés de soudage en continu : TIG, MIG, laser, soudage par induction et soudage à la molette.

■ **Contrôle de laminage**

En sidérurgie, le capteur mesure la répartition thermique sur les métaux en cours de laminage pour assurer la qualité des produits qui sont très sensibles aux dispersions de températures.

■ **Contrôle d'uniformité de température**

En verrerie, le capteur infrarouge est utilisé pour le contrôle de l'uniformité de température de refroidissement du verre plat et des vitrages automobiles pour éviter les contraintes qui induisent des zones de rupture et qui génèrent des défauts de transparence optique.

■ **Surveillance de calandrage**

En papeterie, le capteur infrarouge est utilisé pour surveiller les étapes de fabrication du papier et du carton.

■ **Surveillance du four**

En cimenterie, l'analyseur thermique permet de surveiller en permanence l'aspect des revêtements réfractaires internes des fours rotatifs et de réguler la conduite de la cuisson du ciment.
La caméra infrarouge périscopique, plongée en fonctionnement continu dans une ambiance supérieure à 1 000 °C, restitue en permanence la thermographie du lit de matière en cours de refroidissement.

■ **Contrôle de sérigraphie**

Dans l'industrie électronique, le capteur infrarouge contrôle la fabrication en continu des cartes d'ordinateurs.

3.4 Mesure d'épaisseur

3.4.1 Principes de mesure

■ **Mesure par ultrason**

Les signaux ultrasoniques sont envoyés par un palpeur placé sur la surface de la pièce. En traversant les différentes couches, les ondes ultrasoniques sont réverbérées aux couches limites et renvoyées au palpeur. Connaissant la vitesse de propagation des ultrasons dans le matériau, l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'émission et la réception des signaux est exploité par un microprocesseur pour définir l'épaisseur totale et celle des couches individuelles (figure 3.16).
La fréquence des ondes ultrasoniques est choisie en fonction des caractéristiques du matériau à contrôler. En général pour le contrôle d'épaisseur, les fréquences sont comprises entre 1 et 10 MHz. Les vitesses de propagation des ultrasons sont très élevées (par exemple, 5 940 m/s pour les ondes longitudinales dans l'acier).
Cette technique est aussi employée pour déterminer la profondeur des défauts internes d'un matériau. Il faut donc un système électronique rapide pour distinguer les échos.

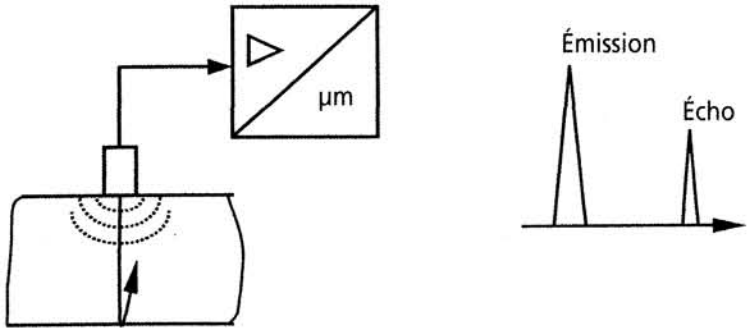


Figure 3.16 – Mesure par ultrason.

■ Mesure par induction magnétique

Le palpeur, constitué d'une bobine primaire (émetteur) et d'une bobine secondaire (mesureur), est placé sur la surface de revêtement. Le couplage inductif entre ces deux bobines est influencé par l'épaisseur du revêtement non magnétique sur la base magnétique (ferreuse). Plus le revêtement est épais, plus le signal de mesure est affaibli (figure 3.17).

Cette technique est utilisée pour mesurer tous les revêtements non magnétiques (peinture, émail, chrome, zinc...) sur acier et bases ferreuses.

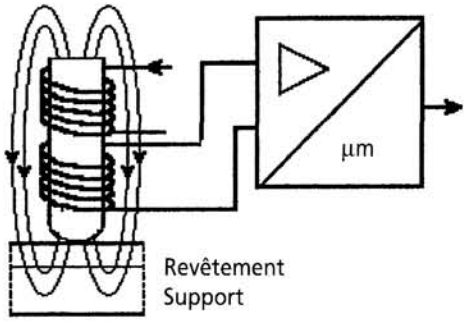


Figure 3.17 – Mesure par induction magnétique.

■ Mesure par courant de Foucault

La mesure consiste à soumettre la pièce à l'action d'un champ magnétique variable, à l'aide d'une bobine parcourue par un courant électrique de haute fréquence. Ce champ magnétique induit des courants de Foucault dans la pièce. La trajectoire des courants induits est perturbée par des variations locales, soit de la géométrie, soit par des caractéristiques électromagnétiques du matériau. Le champ induit est fonction de ces variations et s'oppose au champ d'excitation (loi

de Lenz), ce qui fait varier le courant traversant la bobine d'excitation. Cette variation assure une relation parfaitement linéaire à l'épaisseur de la pièce (figure 3.18).

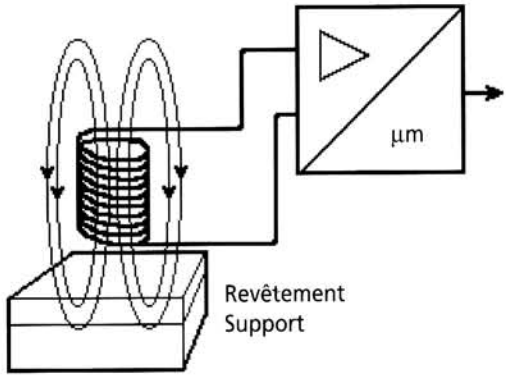


Figure 3.18 – Mesure par courant de Foucault.

Cette technique est appropriée pour mesurer tous les revêtements isolants sur métaux non ferreux (aluminium, cuivre, laiton, zinc, acier inoxydable et galvanisé).

3.4.2 Mesure d'épaisseur des revêtements

■ Applications

Le revêtement est appliqué sur un matériel pour diverses raisons :

- l'aspect visuel ou l'esthétique,
- les problèmes de corrosion,
- le fonctionnement ou la résistance mécanique.

L'épaisseur est l'un des critères de qualité, la mesure s'effectue alors :

- dans les ateliers de peinture ou d'électrodéposition,
- pour les applications de peinture humide ou en poudre,
- dans l'industrie de l'automobile ou de la réparation,
- pour les contrôles de qualité en fin de production,
- dans les unités de développement ou dans les opérations d'expertise,
- dans toutes les opérations menées dans les laboratoires ou sur sites.

En maintenance préventive, la pratique de mesure d'épaisseur est appliquée pour suivre l'évolution de l'usure dans le temps.

■ Matériels

Il existe trois versions d'appareils de mesure de revêtement :

- version F : appareil à induction magnétique,

– version N : appareil à courant de Foucault,
– version FN : appareil combiné de ces deux technologies (figure 3.19).



Figure 3.19 – Appareil de mesure d'épaisseur de revêtement. (Photo © Techindustrie.)

☐ **Caractéristiques d'un appareil de mesure de revêtement**

– Étendue de mesure : 0 à 1 500 µm.
– Tolérance : ± (1 µm + 3 % de lecture).
– Surface minimale de mesure : 5 × 5 mm.
– Statistique : nombre de lectures, valeur moyenne, déviation standard, lecture minimale et maximale ; 10 000 lectures maximum.
– Épaisseur minimale du substrat : type F : 0,5 mm – type N : 50 µm.
– Interface : infrarouge.

☐ **Interface infrarouge**

Une interface infrarouge permet de transférer les données vers un notebook, un micro-ordinateur ou une imprimante. Un logiciel de transfert en ligne et d'archivage de données permet une gestion de mesures dans un micro-ordinateur.

3.4.3 Mesure d'épaisseur totale

■ **Applications**

Cette technique de mesure par ultrason est employée pour :

– mesurer le revêtement multicouche,
– contrôler l'épaisseur des parois et de toutes les pièces dont l'accès n'est possible que d'un seul côté (tuyauteries, citernes…).

■ Matériels

Il existe deux gammes de matériels (figure 3.20).



Figure 3.20 – Appareil de mesure d'épaisseur. (Photo © Labomat Essor.)

□ Mesure de revêtement multicouche

- Étendue de mesure : entre 10 µm et 8 mm.
- Mesure simultanée jusqu'à 5 couches successives.

□ Mesure d'épaisseur

Plage de mesure : de 1 à 200 mm.
Ce sont des appareils avec :

- plusieurs gammes de sondes,
- batterie accumulateur,
- cale étalon,
- interface infrarouge,
- logiciel de transfert des données.

Certains appareils possèdent une imprimante portable Miniprint.

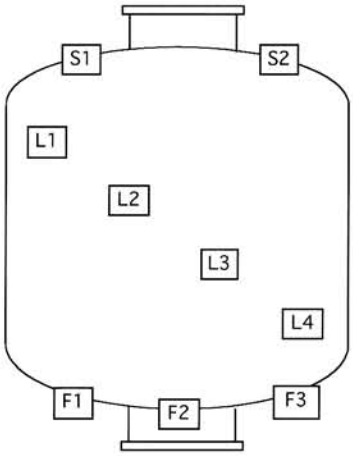
■ Suivi des contrôles d'épaisseur des citernes

En principe, le contrôle d'épaisseur des citernes se fait d'une manière systématique. Selon les produits plus ou moins agressifs qu'elles contiennent, la périodicité de contrôle est semestrielle ou annuelle. Les mesures sont prises toujours aux mêmes endroits. Les points de mesure sont dispersés sur une ligne hélicoïdale autour de la citerne (figure 3.21).

JH 2m

INSTRUCTION TECHNIQUE MÉCANIQUE N° M001

Désignation : RELEVÉ D'ÉPAISSEUR DE LA CUVE ACIDE S3 2163 D'ATELIER ATTAQUE



Matière : E24 2

Surépaisseur de corrosion : 4 mm

PONTS DE MESURE	ÉPAISSEUR D'ORIGINE	DATES						
S1	8 mm							
S2	8 mm							
L1	7 mm							
L2	7 mm							
L3	7 mm							
L4	7 mm							
F1	8 mm							
F2	8 mm							
F3	8 mm							
F4	8 mm							

DATES	OBSERVATIONS

Réalisée le 22/09/1998 par J. HENG — Folio : 1/1

Figure 3.21 – Instruction technique mécanique.

4 • MÉCANIQUE

4.1 Roulements

4.1.1 Types de roulements

Les roulements sont classés selon la nature des charges qu'ils supportent, les roulements radiaux pour les charges radiales et les roulements axiaux ou butés pour les charges axiales. Certains types de roulements sont conçus pour supporter des charges combinées radiales et axiales.
L'effort d'une charge radiale est perpendiculaire à l'arbre, tandis que celui de la charge axiale, ou poussée, agit parallèlement à l'arbre. Une charge combinée consiste en une charge radiale et une charge axiale agissant simultanément.
Les éléments roulants sont des billes ou des rouleaux. D'une façon générale, les roulements à billes sont recommandés pour les charges légères et les roulements à rouleaux sont recommandés pour les charges fortes.
En fonction de la technologie, on trouve plusieurs modèles de roulements :

- roulements radiaux :
  - roulements rigides à billes
  - roulements à rotule sur billes
  - roulements à billes à contact oblique
  - roulements à rouleaux cylindriques
  - roulements à aiguilles
  - roulements à rotule sur rouleaux
  - roulements à rouleaux coniques
- butées ou roulements axiaux :
  - butées à billes
  - butées à billes à contact oblique
  - butées à rouleaux cylindriques
  - butées à aiguilles
  - butées à rotule sur rouleaux
  - butées à rouleaux coniques
- roulements Y et galets :
  - roulements Y
  - galets de cames
  - galets supports
  - galets de cames avec axe

4.1.2 Défaillance des roulements

■ Durée de vie et fatigue

La durée de vie est le nombre de tours que le roulement peut effectuer à vitesse constante avant l'apparition des premiers signes de fatigue sur une bague ou sur un élément roulant. Elle s'exprime aussi en nombre d'heures de fonctionnement.
La fatigue est l'effet de contraintes de cisaillement qui apparaissent de façon cyclique immédiatement sous la surface supportant la charge. Après un certain temps, ces contraintes engendrent des fissures qui s'étendent progressivement jusqu'à la surface ; des fragments de matière, au niveau de la fissure, sont arrachés par le passage des éléments roulants. Ce phénomène, appelé « écaillage », se développe peu à peu et finit par rendre le roulement inutilisable.
L'écaillage est initialement léger. Cependant, les fortes contraintes sur les bords et les fragments véhiculés par le lubrifiant entraînent l'élargissement de la zone écaillée. Cette détérioration se traduit par une élévation des bruits et des vibrations. Elle est relativement longue. L'utilisateur a le temps de remplacer le roulement avant qu'il ne soit complètement hors service. D'où l'intérêt d'une surveillance quotidienne des bruits et des vibrations.
Deuxième phénomène de détérioration, la déformation de surface est la propagation dans la matière des fissures apparues en surface. Toutes les surfaces contiennent des crêtes et des creux microscopiques.
Si l'épaisseur du film d'huile est convenable par rapport à l'état de surface, la probabilité d'une déformation de surface est très faible.
Il est très important de choisir le type correct de roulement et la dimension appropriée pour chaque utilisation. Les deux caractéristiques principales sont les charges limites de fatigue et les vitesses de rotation.

■ Causes de défaillance

Dans la pratique, la défaillance n'est généralement pas causée par la fatigue, mais par l'usure, la corrosion, la pollution, l'erreur de montage, la mauvaise lubrification, etc. Les mauvaises conditions d'utilisation et d'entretien ont l'influence importante sur la durée de vie des roulements. D'où la notion de durée de service qui se définit comme la durée réelle atteinte par un roulement avant qu'il ne devienne inutilisable.

■ Défauts d'alignement des arbres

Les arbres non alignés engendrent un couple qui crée une réaction dans les roulements des ensembles menants et menés ainsi que les accouplements. Ces défauts peuvent provoquer :

- une augmentation de charge de 20 % qui réduit la durée calculée des roulements de 50 % ;
- une usure des joints qui augmente le risque de détérioration des roulements par pénétration d'impuretés ou de fuite de lubrifiant ;
- une augmentation des vibrations ;
- une augmentation de la consommation d'énergie.

Les contrôles d'alignement des arbres seront traités en détail dans la section 4.2 sur les accouplements.

4.1.3 Surveillance quotidienne

■ Bruit anormal

Les roulements en bon état de fonctionnement émettent un léger ronronnement, doux et régulier. Un bruit fort irrégulier, avec des craquements, témoigne de roulements en mauvais état.
Un crissement peut être produit par une mauvaise lubrification. Un jeu insuffisant peut produire un son métallique, voire un sifflement. Des empreintes sur la piste de la bague extérieure peuvent engendrer des vibrations avec un son clair et uni. Une bague endommagée par des coups de montage ou par un écaillage conduit à des sons modulés en fonction de la vitesse de rotation du roulement. Des bruits intermittents indiquent une détérioration d'un élément roulant. Les poussières entraînent souvent des craquements.
Les bruits produits par des roulements en dysfonctionnement peuvent être détectés par un technicien expérimenté. Un stéthoscope électronique est un outil d'aide à l'écoute de ces bruits.

■ Échauffement

Les causes d'une élévation anormale de température peuvent être une lubrification insuffisante ou excessive, des impuretés dans le lubrifiant, une surcharge, une détérioration du roulement, un jeu insuffisant, un pincement du roulement ou un frottement élevé des joints d'étanchéité.
Un roulement ne doit pas fonctionner avec une température de plus de 125 °C. Une augmentation naturelle de température peut se produire immédiatement après l'ajout initial ou périodique de lubrifiant, pendant une journée ou deux.
La température du roulement peut être contrôlée de façon précise à l'aide d'un thermomètre de surface digital. Les roulements montés à des emplacements critiques, sur des équipements vitaux, devraient être équipés de sondes thermiques. Le contrôle de température est intégré dans le processus de surveillance en continu de l'installation.

■ Vérification de l'absence de fuite

Des fuites de lubrifiant à l'emplacement des joints doivent faire l'objet d'une vérification immédiate afin de savoir s'il s'agit éventuellement de joints défectueux ou de bouchons ou de vis de fermeture insuffisamment serrés. Les fuites peuvent aussi résulter d'un contact défectueux au niveau du plan joint du palier ou d'une résistance mécanique de la graisse qui, du fait du malaxage, libère l'huile avec comme conséquence une surlubrification.

4.1.4 Graissage de roulement

□ Graissage initial

Les méthodes de graissage varient selon la conception du roulement et du palier.

□ Roulements séparables

Les roulements séparables comprennent les roulements à rouleaux cylindriques, les roulements à rouleaux coniques et tous les types de butées. Le graissage peut s'effectuer pendant les phases de montage.
Après le montage de la première bague, il faut garnir de graisse l'espace intérieur, puis graisser la bague. Si la bague est munie d'un ensemble cage-billes ou rouleaux, on veillera à ce que les espaces soient bien remplis. Si la bague est seule, il suffit de la graisser légèrement de façon qu'elle ne soit pas détériorée lors de l'enfoncement de l'autre bague avec l'ensemble cage-éléments roulants.

□ Roulements non séparables

Ce sont des roulements rigides ou à rotules. Les roulements rigides, tels que les rigides à billes ou les roulements à billes à contact oblique, sont garnis de graisse des deux côtés.
Dans les roulements à rotule sur billes ou sur rouleaux, il est possible de basculer une bague de façon à rendre accessibles les éléments roulants et à pouvoir injecter de la graisse.

□ Paliers à plan de joint diamétral

Monter le roulement sur l'arbre, puis le garnir de graisse.
Positionner correctement l'ensemble dans le logement du palier et remplir de graisse avant de fermer la partie supérieure.
La quantité de graisse nécessaire pour un graissage initial des paliers est approximativement entre le tiers et la moitié du volume de l'espace libre dans la partie inférieure du palier.

□ Paliers en une pièce

Placer le joint d'étanchéité intérieur, puis garnir de graisse l'espace entre le joint et la portée du roulement.
Graisser le côté du roulement rigide qui doit être tourné vers l'intérieur.
Monter le roulement et graisser le côté extérieur.

■ Durée d'efficacité de la graisse

La durée de vie d'une graisse dépend de plusieurs facteurs tels que le type de graisse, la vitesse et la température de fonctionnement du roulement. L'environnement et le dispositif d'étanchéité jouent aussi un rôle important.
Les roulements « lubrifiés à vie » sont munis de flasques ou de joints, leur durée de service est souvent si longue qu'une relubrification n'est pas nécessaire.

□ Diagramme d'intervalles de relubrification

Voir figure 4.1.

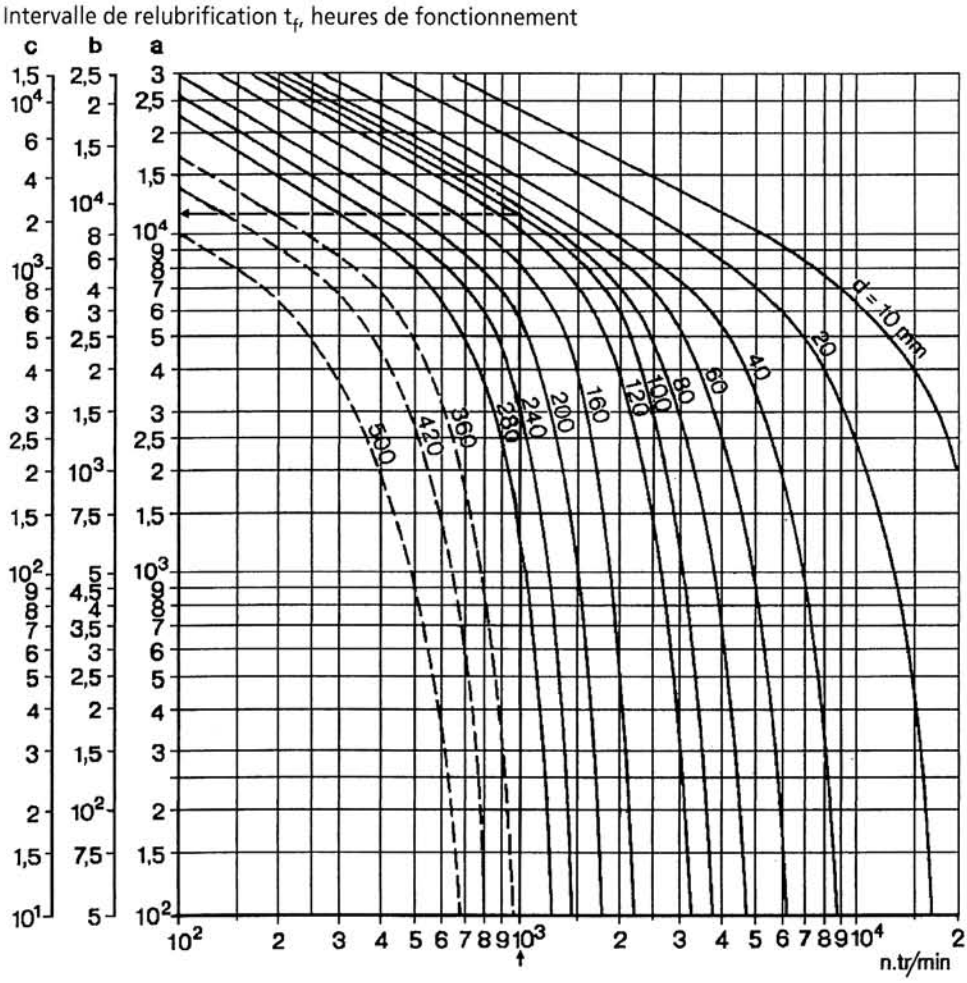


Figure 4.1 – Diagramme d'intervalles de relubrification.
Échelles : (a) roulements à billes radiaux ; (b) roulements à rouleaux cylindriques, roulements à aiguilles ; (c) roulements à rotules sur rouleaux, roulements à rouleaux coniques, butées à billes, roulements à rouleaux cylindriques jointifs (0,2 t_f), roulements à rouleaux cylindriques croisés avec cage (0,3 t_f), butées à rouleaux cylindriques, butées à aiguilles, butées à rotule sur rouleaux (0,5 t_f).

□ Exemple

Un roulement rigide à billes de diamètre d'alésage d = 100 mm, fonctionne à une vitesse de 1 000 tr/min : sur la figure 4.1, prenons la droite verticale partant du point 10^3 = 1 000 tr/min de l'axe des abscisses. À l'intersection de cette droite et de la courbe d = 100, traçons une droite horizontale parallèle à l'axe des abscisses qui coupera à gauche l'échelle a au point $1{,}2 \times 10^4$ = 12 000.
L'intervalle de relubrification du roulement est de 12 000 heures de fonctionnement.

□ **Influence de la température sur les intervalles de relubrification**

Si la température du roulement dépasse 70 °C ; l'intervalle de relubrification doit être divisé par deux pour chaque augmentation de 15 °C. Si la température du roulement est inférieure à 70 °C, l'intervalle peut être allongé.
Il est nécessaire de lubrifier plus fréquemment dans les applications où il existe un risque de forte pollution. Il en est de même pour les roulements en environnement humide.

■ **Quantité d'appoint de graisse (tableau 4.1)**

□ **Quantité théorique**

En régime hydrodynamique ou élastohydrodynamique, les espaces dans le roulement et le palier ne doivent être que partiellement garnis (de 30 à 50 % du volume) afin d'éviter de fortes élévations de température aux grandes vitesses.
La quantité d'appoint G_a sera déterminée par la formule :

$$G_a = 0{,}005 \cdot D \cdot B$$

avec G_a la quantité d'appoint (en g), D le diamètre extérieur du roulement (en mm) et B la largeur de la bague intérieure du roulement (en mm) (H pour les butées).

□ **Quantité opérationnelle**

Si la graisse doit assurer un rôle de barrière entre les poussières ou s'il existe un risque de délavage à l'eau, aux solvants, etc., la quantité peut être beaucoup plus importante.

4.1.5 Lubrification de roulement

L'huile est préférée à la graisse lorsque les températures de fonctionnement sont élevées. Les hautes températures peuvent être le résultat d'un fonctionnement à grande vitesse, de fortes charges ou d'une température ambiante élevée. La lubrification à l'huile doit être adoptée si les intervalles de graissage (à la graisse) s'avèrent trop courts.

■ **Bain d'huile**

Le bain d'huile peut être utilisé aux faibles vitesses. Lorsque le roulement est au repos, le niveau d'huile doit se situer juste au-dessous du centre de l'élément roulant le plus bas. En rotation, l'huile est remontée par les éléments du roulement, traverse le roulement puis retourne au bain.

■ **Circulation d'huile**

La circulation d'huile permet d'allonger l'intervalle de remplacement de lubrifiant. Avant que l'huile n'atteigne le roulement, elle est filtrée et refroidie par une centrale de lubrification.

Tableau 4.1 – Quantité d'appoint de graisse (en g) du roulement.

Diamètre extérieur D du roulement (en mm)	Largeur B de la bague intérieure du roulement (en mm)																		
	15	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
45	3,0	4,1	4,5	5,6	6,8	7,9	9,0	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	23
50	3,8	4,5	5,0	6,3	7,5	8,8	10	11	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	25
55	4,1	5,0	5,5	6,9	8,3	9,6	11	12	14	15	17	18	19	21	22	23	25	26	28
60	4,5	5,4	6,0	7,5	9,0	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30
65	4,9	5,9	6,5	8,1	9,8	11	13	15	16	18	20	21	23	24	26	28	29	31	33
70	5,3	6,3	7,0	8,8	11	12	14	16	18	19	21	23	25	26	28	30	32	33	35
75	5,6	6,8	7,5	9,4	11	13	15	17	19	21	23	24	26	28	30	32	34	36	38
80	6,0	7,2	8,0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
85	6,4	7,7	8,5	11	13	15	17	19	21	23	26	28	30	32	34	36	38	40	43
90	6,8	8,1	9,0	11	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36	38	41	43	45
95	7,1	8,6	9,5	12	14	17	19	21	24	26	29	31	33	36	38	40	43	45	48
100	7,5	9,0	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50
105	7,9	9,5	11	13	16	18	21	24	26	29	32	34	37	39	42	45	47	50	53
110	8,3	9,9	11	14	17	19	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55
115	8,6	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	37	40	43	46	49	52	55	58
120	9,0	11	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60

Tableau 4.1 (suite) – Quantité d'appoint de graisse (en g) du roulement.

Diamètre extérieur D du roulement (en mm)	Largeur B de la bague intérieure du roulement (en mm)																		
	15	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
125	9,4	11	13	16	19	22	25	28	31	34	38	41	44	47	50	53	56	59	63
130	9,8	12	13	16	20	23	26	29	33	36	39	42	46	49	52	55	59	62	65
135	10	12	14	17	20	24	27	30	34	37	41	44	47	51	54	57	61	64	68
140	11	13	14	18	21	25	28	32	35	39	42	46	49	53	56	60	63	67	70
145	11	13	15	18	22	25	29	33	36	40	44	47	51	54	58	62	65	69	73
150	11	14	15	19	23	26	30	34	38	41	45	49	53	56	60	64	68	71	75
155	12	14	16	19	23	27	31	35	39	43	47	50	54	58	62	66	70	74	78
160	12	14	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
165	12	15	17	21	25	29	33	37	41	45	50	54	58	62	66	70	74	78	83
170	13	15	17	21	26	30	34	38	43	47	51	55	60	64	68	72	77	81	85
175	13	16	18	22	26	31	35	39	44	48	53	57	61	66	70	74	79	83	88
180	14	16	18	23	27	32	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90
185	14	17	19	23	28	32	37	42	46	51	56	60	65	69	74	79	83	88	93
190	14	17	19	24	29	33	38	43	48	52	57	62	67	71	76	81	86	90	95
195	15	18	20	24	29	34	39	44	49	54	59	63	68	73	78	83	88	93	98
200	15	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

■ Injection d'huile

Aux grandes vitesses de rotation, l'huile peut être repoussée du roulement au lieu de le traverser et évacuer la chaleur. Le moyen efficace est de diriger un jet d'huile dans le roulement. La vitesse du jet doit être au moins 15 m/s pour que l'huile puisse pénétrer dans le tourbillon d'air créé par la rotation du roulement.

■ Lubrification air-huile

Un appareil de lubrification air-huile fournit des petites quantités d'huile dans des roulements permettant d'y créer un film lubrifiant porteur, ce qui diminue le frottement potentiel et maintient une température de roulement faible et stable (figure 4.2).
L'huile est injectée dans des canalisations à intervalle déterminé et poussée jusqu'aux roulements par de l'air comprimé. La surpression créée dans les roulements empêche la pénétration des impuretés.

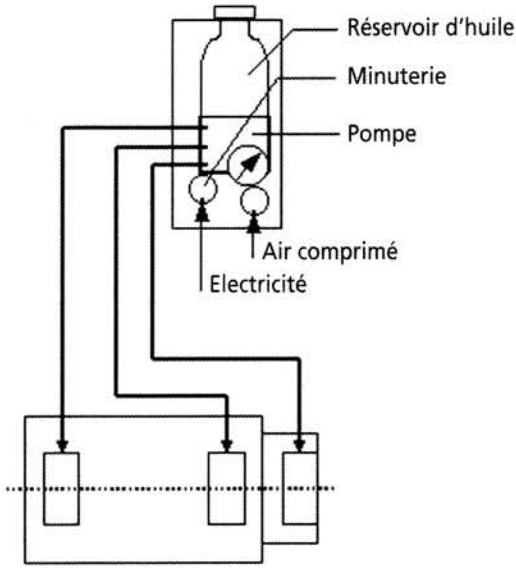


Figure 4.2 – Appareil de lubrification air-huile.

■ Intervalles de remplacement de l'huile

Avec la lubrification par bain d'huile dont la température est régulièrement inférieure à 50 °C, il suffit généralement de remplacer l'huile une fois par an. Le remplacement sera plus fréquent lorsque les températures sont supérieures. Par exemple pour un fonctionnement à 100 °C, l'huile doit être remplacée tous les trois mois.
Dans le cas de l'huile en circulation, le remplacement est déterminé par un examen.

4.2 Accouplements

Les accouplements sont des dispositifs qui assurent la liaison entre l'arbre moteur et l'arbre d'une machine, ce qui permet de transmettre la puissance du moteur à la machine concernée.
Dans cette fonction :

- ils offrent la possibilité de dissocier les deux arbres lorsqu'il est nécessaire ;
- ils tolèrent les petits défauts d'alignement dus au déplacement des matériels en service.

4.2.1 Types d'accouplements

■ Accouplements mécaniques

Ces accouplements possèdent un caractère commun : la transmission de la puissance se fait à travers la troisième pièce, en caoutchouc ou en métal, qui relie physiquement les moyeux des deux arbres.

□ Accouplement à mâchoires

Un accouplement à mâchoires comporte une pièce intermédiaire en caoutchouc moulé entre les deux moyeux qui sont attachés respectivement à l'arbre moteur et à l'arbre récepteur. La pièce intermédiaire en caoutchouc donne à l'accouplement la flexibilité dont il a besoin pour tolérer les petits défauts d'alignement.

□ Accouplement flexacier

Ce type d'accouplement possède une armature métallique dite « flexacier » qui serpente entre les dents des deux moyeux et les attache. Les anneaux d'étanchéité sont montés sur les moyeux. Tous les éléments se montent entre les demi-enveloppes dont l'étanchéité est assurée par des joints.

□ Accouplement à pignons

Un accouplement à pignons comporte des moyeux et des anneaux d'étanchéité. Et c'est le manchon denté qui transmet la puissance d'un moyeu à l'autre. Ce type d'accouplement ne possède pas de joint, mais deux bagues de retenue, une à chaque extrémité du manchon.

■ Accouplement hydraulique

La puissance est transmise par le mouvement d'un fluide, de l'huile habituellement. Le moyeu de l'arbre moteur communique au fluide un mouvement tourbillonnant et le force contre le moyeu de l'arbre récepteur. Le mouvement de rotation est ainsi transmis à l'arbre de la machine (figure 4.3).

■ Accouplement magnétique

Les anneaux métalliques sont fixés sur l'arbre récepteur. Les anneaux et les aimants sont en face les uns des autres. Lorsque l'arbre moteur tourne, les

anneaux entraînent par la force magnétique les aimants. L'arbre récepteur est alors en mouvement de rotation (figure 4.4).

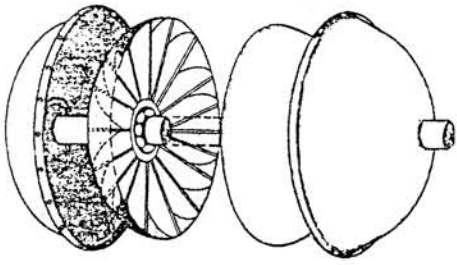


Figure 4.3 – Accouplement hydraulique.

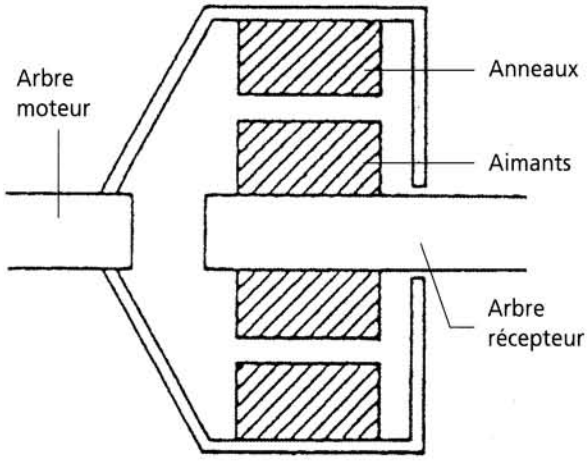


Figure 4.4 – Accouplement magnétique.

4.2.2 Caractéristiques des accouplements

■ Couple nominal à transmettre

Le couple nominal à transmettre est le principal facteur de dimensionnement des accouplements. Il est fonction de la puissance nominale à transmettre et de la vitesse de rotation.

$$C\,(\mathrm{m}\cdot\mathrm{daN}) = \frac{716 \times P\,(\text{chevaux})}{N\,(\mathrm{tr/min})} = \frac{973,5 \times P\,(\mathrm{kW})}{N\,(\mathrm{tr/min})}$$

avec P la puissance nominale du moteur (ou machine menante) exprimée en kW ou en chevaux et N la vitesse de rotation du moteur qui doit être inférieure à la vitesse maximale de l'accouplement.

■ Coefficient de sécurité

Le coefficient de sécurité ou facteur de charge est le produit des trois coefficients :

- K_1 : coefficient d'irrégularité de couple due aux types des machines motrices et réceptrices,
- K_2 : coefficient de fréquence de démarrage,
- K_3 : coefficient de nombre d'heures de fonctionnement par jour.

Couple nominal de l'accouplement = Couple nominal à transmettre × Coefficient de sécurité

Tableau 4.2 – Coefficient d'irrégularité K_1.

Machine motrice			Machine réceptrice	Exemples de machines réceptrices
Moteur électrique et turbine	Machine à piston			
	4 à 6 cylindres	1 à 3 cylindres		
1	1,2	1,4	❶Marche régulière Très faible inertie	Arbre de renvoi – Générateur d'éclairage – Ligne d'arbres – Pompe centrifuge – Ventilateur centrifuge
1,2	1,4	1,7	❷Marche irrégulière Faible inertie	Agitateur pour liquide – Convoyeur à bande – Élévateur – Machine-outil rotative à bois et à métaux – Machine textile légère – Plieuse – Ventilateur – Pompe à engrenages – Pompe à palettes
1,4	1,7	2	❸Marche irrégulière Inertie moyenne	Agitateur pour liquide chargé – Compresseur rotatif – Convoyeur à rouleaux – Déchiqueteur - Four rotatif – Machine à bois (scie à ruban, dégauchisseuse) – Machine à imprimer – Mélangeur – Monte-charge – Poinçonneuse – Pompe centrifuge pour liquide chargé

Tableau 4.2 (suite) – Coefficient d'irrégularité K_1.

Machine motrice			Machine réceptrice	Exemples de machines réceptrices
Moteur électrique et turbine	Machine à piston			
	4 à 6 cylindres	1 à 3 cylindres		
1,7	2	2,4	❹Marche irrégulière Inertie moyenne A-coups moyens	Bétonneuse – Broyeur à barre – Broyeur à boulets – Compresseur à piston à volant d'inertie – Convoyeur à chaînes – Grue – Laminoir à métaux légers – Machine de minoterie – Marteau-pilon – Métier à tisser – Pompe à piston à volant d'inertie – Raboteuse à métaux – Treuil – Ventilateur de mine
2	2,4	2,8	❺Marche irrégulière Inertie importante A-coups importants	Broyeur à marteaux – Calandre (caoutchouc, textile) – Compresseur à piston à faible volant d'inertie – Défibreur à bois – Excavateur – Laminoir – Pompe à piston à faible volant d'inertie – Presse à forger – Presse de papeterie – Tamis vibrant
2,4	2,8	3,3	❻Marche irrégulière Inertie très importante A-coups très importants	Compresseur à piston sans volant d'inertie – Concasseur – Génératrice de soudage – Laminoir lourd – Presse de briqueterie – Pompe à piston sans volant d'inertie

Tableau 4.3 – Coefficient de fréquence de démarrage K_2.

Suivant machine motrice/ machine réceptrice	Nombre de démarrages par heure		
	30	60	120
❶	1,3	1,5	1,6
❷ et ❸	1,2	1,3	1,4
❹ et ❺et ❻	1	1,2	1,2

Tableau 4.4 – Coefficient du nombre d'heures de fonctionnement quotidien K_3.

Nombre d'heures de fonctionnement quotidien	8 – 16	16 – 24
Coefficient K_3	1,1	1,2

■ **Rigidité**

C'est l'aptitude à supporter :

- les irrégularités des couples,
- le désalignement et le décalage entre les arbres,
- certaines déformations du châssis.

Cette caractéristique s'exprime par des tolérances :

- écart d'alignement maximal,
- écart angulaire maximal,
- jeu axial.

■ **Dimensions et conditions de travail**

Les dimensions (diamètre et longueur) de l'accouplement sont déterminées en fonction :

- des dimensions des bouts d'arbres sur lesquels seront rapportés les manchons de l'accouplement,
- de l'encombrement disponible entre les machines.

Les conditions de travail se rapportent, par exemple, à la température, à l'ambiance, etc.

4.2.3 Contrôle et correction des défauts d'alignement

■ **Défauts d'alignement**

Lorsque la machine fonctionne et que les arbres tournent, les signes suivants peuvent indiquer des défauts d'alignement :

- une oscillation des arbres,
- des vibrations excessives,
- une température élevée des paliers,
- des bruits inhabituels.

Ces signes indicateurs sont appréciés par les techniciens lors de la vérification quotidienne.
L'usure accentuée des paliers provient généralement d'un défaut d'alignement. Il en est de même que celle de l'accouplement, et surtout si l'usure est inégale.

■ **Contrôle des défauts d'assise**

La machine peut être en déséquilibre sur ses pieds. Utiliser un comparateur en appui sur le haut du pied. Desserrer le boulon et relever le déplacement sur le cadran du comparateur (figure 4.5).

Une règle pratique dit que, si la valeur excède 0,05 mm, il est nécessaire de procéder à un ajustement au moyen de cales d'épaisseur ou par usinage. Si les pieds de la machine ne sont pas parallèles, vérifier si l'assise est plane. Les défauts peuvent provenir du vieillissement du béton, des écaillages et des variations thermiques.
Vérifier aussi que les boulons de fixation sont bien centrés dans les trous, afin de permettre le déplacement horizontal de la machine lors de la correction d'alignement.

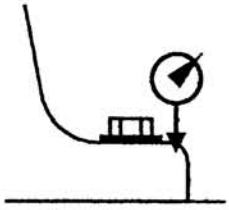


Figure 4.5 – Contrôle des défauts d'assise.

■ Contrôle des défauts d'alignement

On distingue deux types de défauts d'alignement, les mesures permettent non seulement de savoir s'il y a ou non un défaut, mais également de déterminer exactement son importance.

□ Défaut d'alignement parallèle

Les axes des deux arbres sont parallèles mais décalés :

- défaut d'alignement parallèle vertical : un arbre est plus haut que l'autre ;
- défaut d'alignement parallèle horizontal : un arbre est de côté par rapport à l'autre.

Une façon rapide de vérifier s'il y a défaut d'alignement parallèle consiste à poser une règle en travers de la partie supérieure des deux moyeux :

- l'alignement parallèle vertical est mauvais si la règle ne repose pas à plat sur les deux moyeux ;
- si l'alignement parallèle horizontal est correct, on lira la même valeur tout autour sur la règle en la déplaçant autour des moyeux.

□ Défaut d'alignement angulaire

Les axes des deux arbres forment un angle :

- défaut d'alignement angulaire vertical : l'angle formé est dans le plan vertical ;
- défaut d'alignement angulaire horizontal : l'angle formé est dans le plan horizontal.

Les défauts d'alignement angulaires sont mesurés au moyen d'un calibre en coin que l'on insère en quatre points équidistants sur le pourtour des moyeux :

- il y a défaut d'alignement angulaire vertical si les mesures effectuées entre les moyeux donnent des résultats différents en haut et en bas ;
- il y a défaut d'alignement angulaire horizontal, si les mesures effectuées entre les moyeux donnent des résultats différents des deux côtés ;
- lorsque les résultats des quatre mesures sont identiques, c'est que le jeu entre les moyeux est uniforme et que l'alignement angulaire de l'ensemble est correct.

□ Usage d'une réglette

La réglette est posée à plat sur les quatre positions du moyeu supérieur. Avec un jeu de cale on mesure l'espace entre la réglette et le flanc du moyeu décalé (figure 4.6).

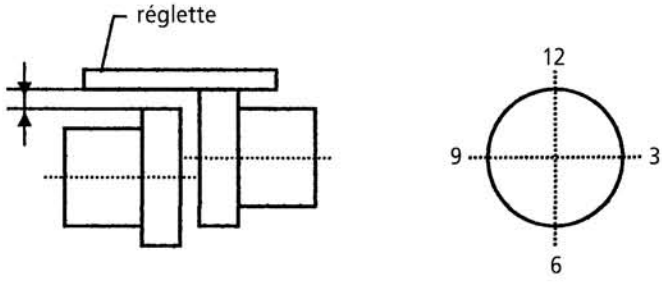


Figure 4.6 – Mesure avec une réglette.

□ Méthode de la double concentricité

C'est une procédure de lignage en utilisant deux supports rigides et deux micromètres. Cette méthode n'est pas sensible aux déplacements axiaux, ce qui n'engendre pas des erreurs dans la mesure. Il est possible de vérifier le lignage avec l'accouplement installé. Les deux micromètres C_1 et C_2 sont situés à un écart angulaire de 180°.

On tourne les deux arbres simultanément et dans la même direction pour ne pas affecter l'erreur venant des irrégularités circulaires des deux bouts d'arbres.

La lecture sera faite sur les quatre positions (figure 4.7) pour les deux micromètres. La valeur mesurée est considérée positive lorsque le palpeur du micromètre est poussé vers l'intérieur.

□ Interprétation des mesures vis-à-vis du plan vertical

Dans le plan vertical C_1, l'action verticale vers le haut de l'arbre est prépondérante (figure 4.8a). L'axe A est plus haut que l'axe B dans le plan C_1 :

$$\frac{(100 - 90)}{2} = 5$$

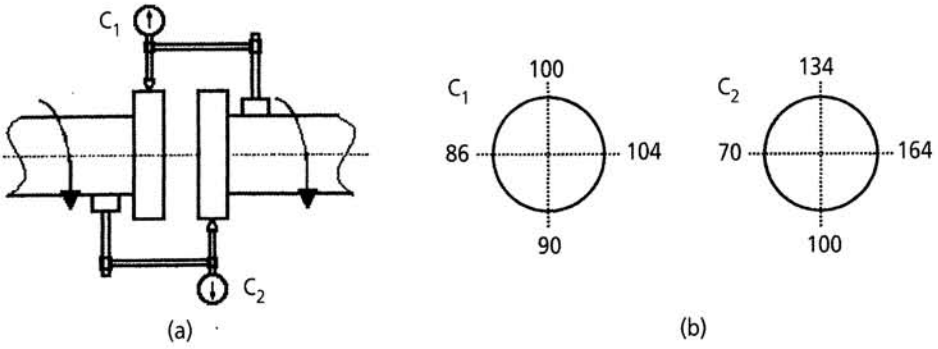


Figure 4.7 – (a) Mesure avec micromètres et (b) lecture des micromètres.

Dans le plan vertical C_2, l'action verticale vers le haut de l'arbre B sur le micromètre est la plus importante. L'axe B est plus haut que l'axe A dans le plan C_2 :

$$\frac{(134 - 100)}{2} = 17$$

☐ **Interprétation des mesures vis-à-vis du plan horizontal**

La mesure indique que l'arbre A est plus sur le côté droit que l'arbre B dans le plan du micromètre C_1 (figure 4.8b) :

$$\frac{(104 - 86)}{2} = 9$$

L'arbre B est plus sur le côté droit que l'arbre A dans le plan du micromètre C_2 :

$$\frac{(164 - 70)}{2} = 47$$

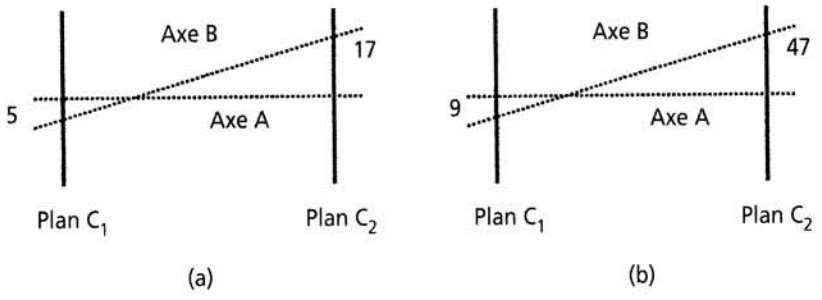


Figure 4.8 – Plans (a) verticaux et (b) horizontaux des micromètres.

☐ Contrôle d'alignement au laser

Un émetteur placé sur l'arbre de la machine de référence émet un rayon laser. Ce rayon est capté par un récepteur, situé sur l'arbre de la machine à aligner, et renvoyé au détecteur de l'unité émettrice.

Quand les deux arbres tournent de 180° dans le même sens, tout désalignement provoque un déplacement du rayon réfléchi par rapport à sa position d'origine réglé au par avance au centre du détecteur.

On trouve deux types de matériel :

- émetteur et récepteur (figure 4.9) : l'unité émettrice possède un émetteur laser et un détecteur, l'unité réceptrice est tout simplement un prisme permettant la réflexion du rayon incident. Au cours de la rotation des arbres, les mouvements des rayons sont enregistrés par un calculateur qui, à l'aide des données dimensionnelles, va calculer le désalignement de l'arbre ;
- deux unités émetteur/détecteur (figure 4.10) : on utilise deux unités identiques comprenant chacune un émetteur et un détecteur ; ces deux unités sont montées en opposition l'une par rapport à l'autre sur les arbres respectifs. Le rayon laser émis par l'une des unités est capté par l'autre. L'écart des arbres, calculé par comparaison, est affiché par le calculateur.

Le rayon émis par l'unité Y (placé sur l'arbre de la machine de référence) indique la direction de rotation et le détecteur de l'unité X mesure ce rayon et indique l'erreur radiale entre les deux arbres.

Le détecteur de l'unité Y mesure le rayon émis par l'unité X. La comparaison des deux mesures donne l'erreur angulaire entre les deux axes de rotation.

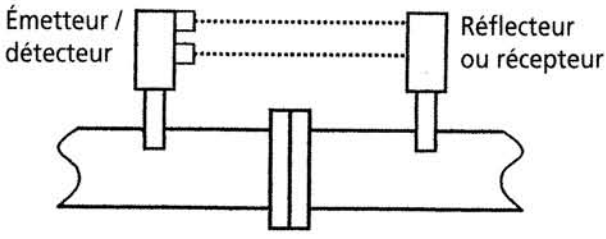


Figure 4.9 – Émetteur et récepteur.

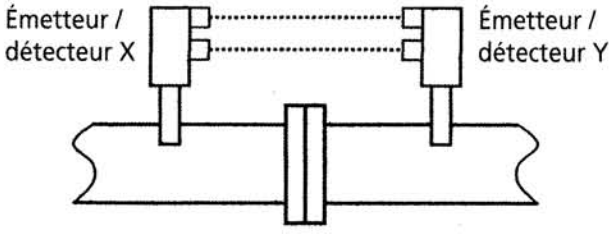


Figure 4.10 – Deux unités émetteur/détecteur.

Tableau 4.5 – Tableau de mesure.

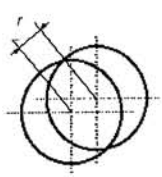
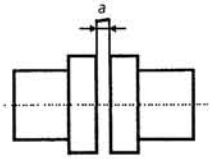
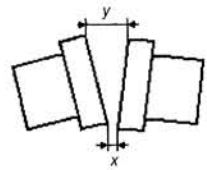
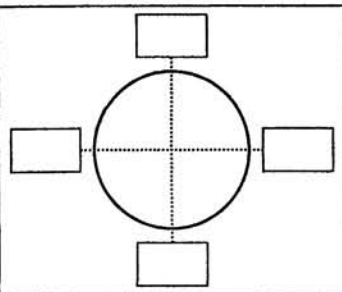
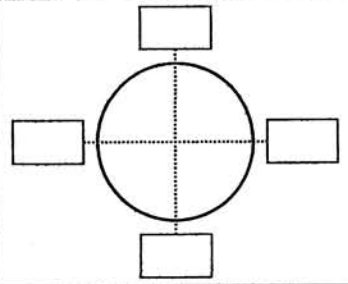
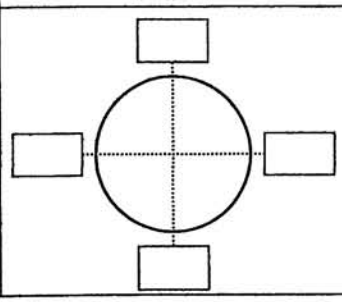
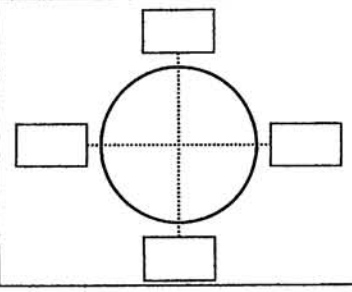
	ECART RADIAL	JEU AXIAL	ACART ANGULAIRE
DEFINITION			
MODE DE MESURE	En posant une réglette sur les 4 points de la circonférence et en mesurant le jeu avec un jeu de cales. Ou avec un comparateur "r" : est égal à la mesure maximum obtenue.	En insérant en 4 points un jeu de cales entre les deux faces de l'accouplement. "a" : est égal à la valeur moyenne des mesures obtenues.	En insérant en 4 points un jeu de cales entre les deux faces de l'accouplement. "angle" : est égal à la plus grande mesure moins la plus petite mesure.
TOLERANCES ADMISES	r maxi : ..... mm	a maxi : ..... mm a moy : ..... mm a mini : ..... mm	angle maxi : ..... mm
MESURES EFFECTUEES	r = ... mm	a = ... mm	angle = ... mm

Tableau 4.6 – Tableau de mesure.

CONTROLE DES ALIGNEMENTS	Machine :	
	PARALLELISME	CONCENTRICITE
Avant CORRECTION Jeu axial :		
Après CORRECTION Jeu axial :		
Observations :		
Mesure effectuée le	par :	

■ Correction des défauts d'alignement

Les défauts d'alignement peuvent être dus au desserrage des fixations, à la dégradation du bâti d'emplacement ou à un mauvais positionnement provoqué par la vibration de fonctionnement.

□ Correction de défaut d'alignement vertical

Tous les défauts d'alignement verticaux, qu'ils soient angulaires ou parallèles, sont corrigés au moyen des cales. Les cales sont des plaquettes d'acier ou de laiton qui sont placées sous les pieds de la machine.

On prend la machine menée comme référence et on corrige la position du moteur après avoir enlevé les boulons de fixation. Ensuite on enlève ou on ajoute les cales d'épaisseur sous les quatre pieds pour élever ou abaisser le moteur sans l'incliner dans le cas d'un défaut de parallélisme et sous les deux pieds avant ou arrière pour faire lever ou plonger l'arbre moteur dans le cas d'un défaut angulaire.

Les cales sont à poser par paire pour ne pas risquer d'accentuer le défaut d'alignement.

Il vaut mieux utiliser les cales épaisses plutôt que plusieurs cales minces. L'empilement de cales entraîne un effet de ressort qui rend difficile un alignement précis.

Les cales doivent être propres, sans trace de graisse, de peinture ni salissures.

□ Correction de défaut d'alignement horizontal

Pour remédier aux défauts d'alignement horizontaux, on déplace le moteur horizontalement sur son bâti. Le déplacement est parallèle ou avec pivotement selon le défaut de parallélisme ou de concentricité.

4.2.4 Entretien des accouplements

■ Accouplement flexacier

L'entretien de l'accouplement flexacier consiste essentiellement à vérifier :

- le maintien du bon graissage dans les rainures des moyeux dentés,
- l'état des joints,
- l'état des ressorts

La graisse est à remplacer tous les deux ans, pour une température relevée sur l'accouplement qui n'excède pas 70 °C.

Tableau 4.7

Accouplement n°	Y à 00	0 à 43	70 à 220	300 à 480
Écart d'alignement maximal	1,5 mm	2 mm	2,5 mm	3 mm
Écart angulaire maximal	1°	0°45′	0°30′	0°30′

■ Autres accouplements

L'entretien des accouplements consiste, tous les 6 000 à 8 000 heures de service :
- à vérifier les fixations,
- à contrôler l'alignement des arbres,
- à ajouter ou renouveler la graisse (pour les accouplements à denture).

4.3 Courroies et poulies de transmission

Une courroie est un organe de transmission de puissance d'un arbre moteur à un arbre récepteur. On sait que la transmission peut être également assurée par engrenages ou par chaînes. On choisira la transmission par courroie lorsque les vitesses linéaires seront élevées, les facteurs d'usure et de bruit intervenant en sa faveur.

4.3.1 Types de courroies

■ Courroie plate

C'est une transmission par adhérence. Les courroies plates sont en cuir, coton, poil de chameau, soie ou en fibres synthétiques. On les emploie dans quatre types de transmissions :
- à courroie ouverte ;
- à courroie croisée ;
- à courroie semi-croisée ;
- à renvoi d'angle.

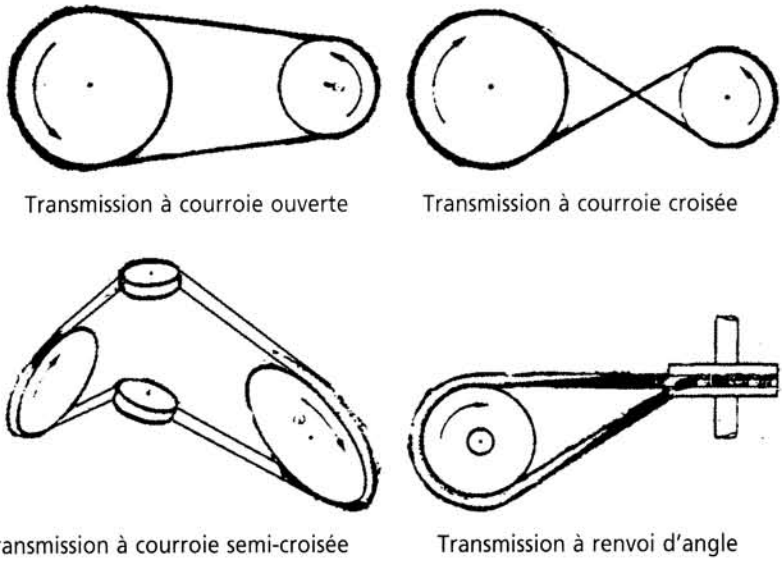


Figure 4.11 – Types de transmissions : à courroie ouverte, à courroie croisée, à courroie semi-croisée et à renvoi d'angle.

■ Courroie trapézoïdale

□ Courroie trapézoïdale étroite

Les courroies trapézoïdales étroites de haute capacité sont normalisées d'après les normes DIN 7753 et NF T 47-140 et 47-141. En accord avec les conventions du Comité ISO TC41, les désignations sont les suivantes : SPZ, SPA, SPB et SPC. La section 19 est normalisée en Allemagne.

La norme ISO définit la largeur primitive (l_p) comme base de normalisation de la courroie trapézoïdale et de la poulie. Celle-ci est la largeur d'une courroie trapézoïdale qui reste invariable lorsque l'on plie la courroie perpendiculairement à sa base. La longueur primitive (L_p) est la longueur d'une courroie trapézoïdale mesurée à la hauteur de la largeur primitive.

Dans la pratique, on utilise la base, la largeur extérieure de courroie (l_e) et la hauteur pour définir la section d'une courroie trapézoïdale.

Aux États-Unis, trois sections de courroies trapézoïdales étroites sont normalisées. La forme de leur section et leurs dimensions ne correspondent pas aux normes européennes (figure 4.12).

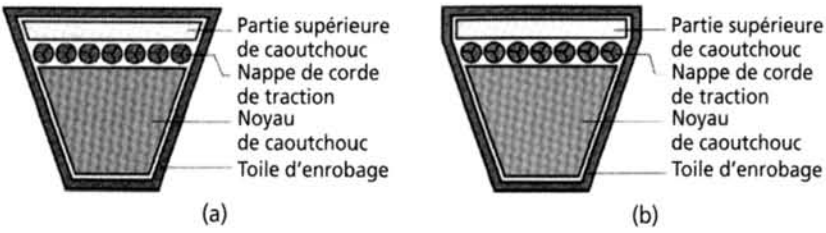


Figure 4.12 – Courroie trapézoïdale (a) Europe et (b) États-Unis.

□ Courroie trapézoïdale à flancs nus

Le noyau inférieur est composé d'un mélange caoutchouté polychloroprène enrichi de fibres orientées transversalement. Cette structure offre les propriétés suivantes :

- une grande flexibilité,
- une excellente stabilité,
- une résistance aux flexions accrue,
- une insensibilité au glissement.

La précision des flancs nus permet une bonne assise du noyau dans la gorge de la poulie et un fonctionnement silencieux. Ce type de courroie convient dans les transmissions industrielles à puissance élevée et avec des poulies de faible diamètre (figure 4.13).

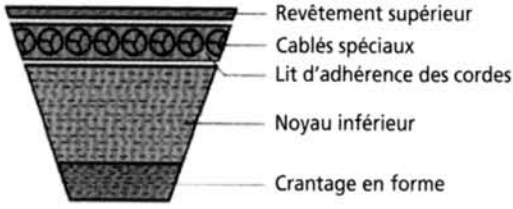


Figure 4.13 – Courroie trapézoïdale à flancs nus.

□ Courroie trapézoïdale classique

Les courroies trapézoïdales classiques assurent des transmissions difficiles dans les secteurs de la motoculture de plaisance, le jardinage et principalement dans les machines agricoles (figure 4.14).

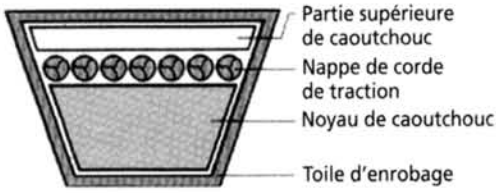


Figure 4.14 – Courroie trapézoïdale classique.

■ Courroie hexagonale

La courroie hexagonale est apte à la transmission typique en configuration serpentine ou dans les applications avec plusieurs flexions. Elle se monte sur des poulies placées sur le même plan mais avec des sens de rotation différents sans que la courroie se croise.

■ Courroie synchrone

La qualité principale de ce type de courroie est d'assurer une synchronisation parfaite entre la vitesse angulaire de la poulie motrice et celle de la poulie réceptrice. Un bon engrènement poulie/courroie assure une transmission sans glissement.
Le pas de la courroie est la distance, mesurée d'axe en axe et sur le cercle primitif, entre deux dents consécutives. La longueur primitive de la courroie est la longueur totale (périmètre déployé), mesurée le long du cercle primitif (figure 4.15).

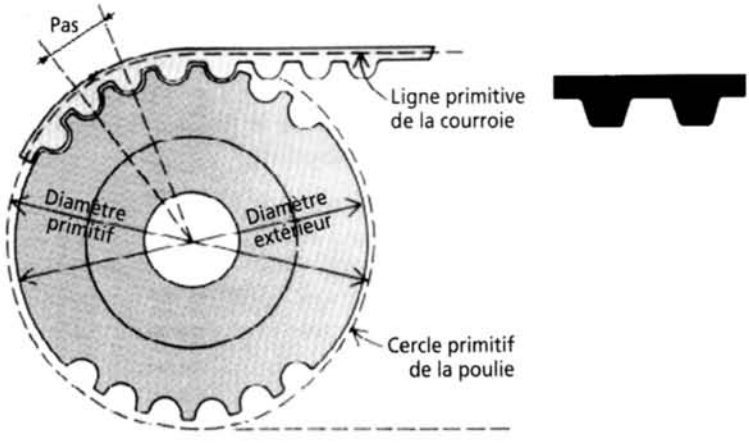


Figure 4.15 – Courroie synchrone.

□ **Courroie synchrone classique**

Elle est caractérisée par sa denture trapézoïdale. Les applications vont de la mécanique de précision (machine à écrire) jusqu'à l'industrie lourde (pompe à huile). Selon la norme ISO 5296, les pas standard sont :

- MXL (mini – extra légère) : pas 2,03 mm – 0,08" ;
- XL (extra légère) : pas 2,080 mm – 1/5" ;
- L (légère) : pas 9,525 mm – 3/8" ;
- H (forte) : pas 12,7 mm – 1/2" ;
- XH (extra forte) : pas 22,225 mm – 7/8" ;
- XXH (extra lourde) : pas 31,75 mm – 1 1/4" .

□ **Courroie synchrone pour des transmissions à couples élevés**

Une denture de forme curviligne garantit une excellente répartition de l'effort dans la masse, en améliorant ainsi la tenue aux couples élevés (basse vitesse angulaire).

□ **Courroie synchrone double face**

La denture se présente sur les deux faces. Cette disposition permet une synchronisation du mouvement des deux côtés de la courroie, une inversion éventuelle du sens de rotation, des transmissions de type « serpentines », etc. Elle est caractérisée par sa haute flexibilité et admet des puissances transmissibles élevées.

□ **Courroie synchrone à bouts libres**

La courroie synchrone à bouts libres est intéressante dans les transmissions avec mouvement alternatif. Elle est spécialement appropriée aux mouvements linéaires (portes de garage, grues), aux positionnements exacts (machines-outils, machines à commande numérique) et aux transmissions réversibles (ordinateurs, imprimantes, machines de bureau). Les pas disponibles sont XL, L, H, 5M, 8M et 14M.

4.3.2 Surveillance quotidienne

■ **Bruit**

Le sifflement de la courroie signale une sous-tension ou une présence d'un corps étranger dans la gorge de la poulie.
Une courroie trop détendue peut fouetter le grillage de protection, par exemple dans le cas d'une transmission à entraxe long.

■ **Patinage**

Le patinage de la courroie peut provenir aussi d'une sous-tension. Ce défaut provoque une accumulation de chaleur qui entraîne le durcissement de la base de courroie. Dans ce cas, la base de courroie peut être profondément craquelée.

■ **Retournement**

La courroie se retourne dans la gorge de poulie ; plusieurs causes sont possibles :

- mauvais alignement des poulies ;

- présence de corps étranger dans la gorge de poulie ;
- usure de gorge de poulie ;
- mauvais montage entraînant un déchirement de cordes de traction ;
- vibrations latérales excessives ;
- mauvais emplacement de galet plat.

■ **Vibration**

Les fortes vibrations peuvent être causées :

- par une transmission insuffisamment tendue ;
- par des poulies non équilibrées.

Lors de l'installation, les vibrations des courroies indiquent :

- que la transmission est sous-dimensionnée et qu'il faut vérifier les rapports de réduction ;
- que l'entraxe est trop large ; on pourra y remédier en plaçant un galet tendeur du côté du brin mené.

4.3.3 Entretien des courroies

■ **Contrôle de l'état de courroie**

□ **Craquelure**

Les petites craquelures peuvent apparaître sur les flancs et la base de la courroie. Celles-ci sont dues à un excès de chaleur ou à l'action des vapeurs chimiques. La chaleur peut être produite par une tension insuffisante de la courroie.
L'origine de la craquelure provient aussi du montage de galet du mauvais côté de la courroie et du mauvais stockage.

□ **Cassure des dents**

Les dents de la courroie crevassent ou cassent à cause :

- d'une température de fonctionnement trop haute ;
- de vibrations anormales qui sont souvent dues à un mauvais équilibrage ;
- d'un galet extérieur trop petit.

□ **Écaillement**

L'enrobage s'est écaillé, les flancs sont mous et gluants et le profil est gonflé. Ces phénomènes sont dus à une contamination aux huiles ou aux solvants.
Le nettoyage des courroies et poulies s'effectue avec un chiffon imbibé de mélange de glycérine et d'alcool.

□ **Coupure**

La courroie est coupée dans sa base ou carrément cassée et a quitté la transmission. Ceci est probablement dû à un mauvais alignement ou à un choc violent sous tension. Vérifier l'alignement des poulies et l'absence d'un corps étranger.

■ Contrôle de tension des courroies

En vieillissant, une courroie s'allonge et se détend avant de se rompre. Pour transmettre les puissances demandées et obtenir une durée de vie satisfaisante, il est absolument nécessaire d'avoir une tension de courroie correcte. Une surtension ou une tension insuffisante influe énormément sur la durée de vie des courroies et conduit souvent à des accidents de transmission. De plus une surtension trop importante peut nuire aux roulements de la machine menante ou ceux de la machine menée.

Le réglage de tension des courroies est en général réalisé :

- par écartement de position de moteur,
- par application du galet tendeur sur les courroies.

□ Mesure de la flèche

En général, la flèche moyenne d'une courroie est de 16 mm pour 1 m de distance d'entraxe. Dans les différents cas, la valeur exacte sera indiquée par le constructeur. La déflection peut être comprise entre 13 et 23 mm pour 1 m d'entraxe (figure 4.16).

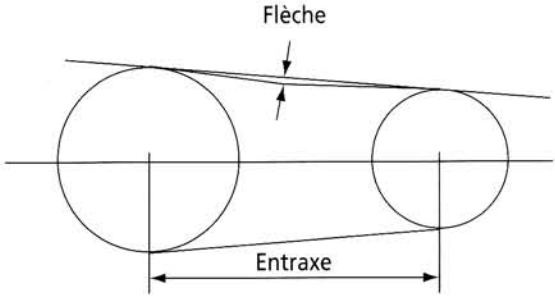


Figure 4.16 – Mesure de la flèche.

□ Mesure de la tension

La méthode consiste à mesurer la force exercée au milieu de la portée pour obtenir une flèche de 1 mm par 100 mm de portée (figure 4.17).

- Tout d'abord mesurer la portée t en utilisant une règle, la déflexion à réaliser pour la mesure sera $f = t/100$. La mesure de la tension ou force de déflexion se fait à l'aide d'un tensiomètre. Cet appareil est composé d'un ressort calibré, d'une échelle pour mesurer la force et d'une échelle pour mesurer la distance de déflexion. Les deux anneaux en caoutchouc facilitent la lecture.
- Amener l'anneau inférieur sur l'échelle inférieure à la distance de déflexion désirée.
- Placer le tensiomètre perpendiculairement et au centre de la portée. Exercer une poussée nécessaire pour obtenir la flèche désirée. Une latte rectiligne, posée sur la courroie d'une poulie à l'autre, permettra une lecture plus précise.
- L'anneau supérieur glisse le long de l'échelle et reste en position abaissée, indiquant la force de déflexion.

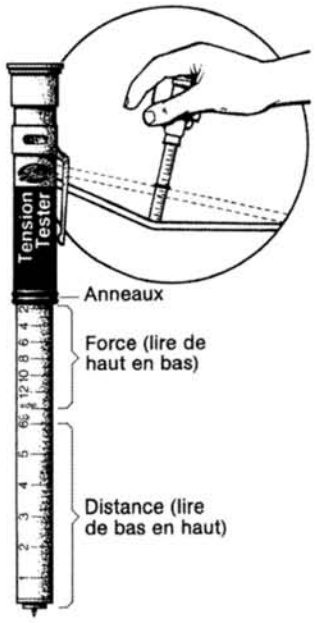


Figure 4.17 – Contrôle par tensiomètre.

- Si l'effort de flexion mesuré est inférieur à l'effort minimal recommandé, les courroies doivent être retendues.
- Les courroies neuves doivent être tendues jusqu'à ce que la force de déflexion soit aussi proche que possible de la force de déflexion maximale recommandée.
- Pour les courroies déjà utilisées, une force de déflexion supérieure au minimum est acceptable.

Si l'état d'usure de la courroie n'est pas encore bien grave, on corrige la tension en agissant sur le tendeur ou en déplaçant l'un des deux systèmes de poulie selon le système.

☐ Contrôle d'allongement

Cette méthode est utilisée pour régler la tension des transmissions de forte puissance, à grand entraxe ou utilisant plusieurs courroies.

Les courroies étant montées sur les poulies correctement alignées, commencer à tendre les courroies jusqu'à ce que les nappes ne présentent plus de flèche appréciable. Tracer sur le dos d'une courroie située au centre de la nappe, deux traits fins transversaux éloignés l'un de l'autre et situés sur la partie rectiligne du brin de la courroie (figure 4.18).

Tendre progressivement les courroies, en faisant tourner la transmission quelques tours entre chaque reprise de tension, jusqu'à ce que la longueur entre les deux repères augmente. L'allongement correct des courroies est donné en pourcentage dans le tableau 4.8. L'allongement des courroies synchrones est très faible (de 0,1 à 0,2 %).

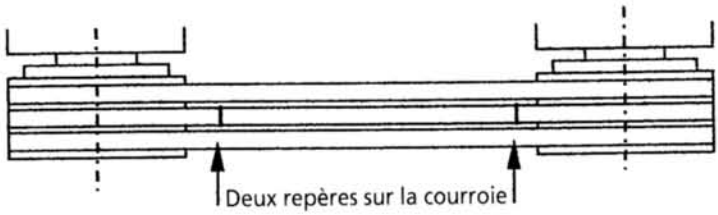


Figure 4.18 – Contrôle d'allongement des courroies.

Tableau 4.8 – Allongement efficace moyen.

	Couple moteur ou résistant uniforme	Couple moteur ou résistant variable	Couple moteur ou résistant très variable
Courroies plates	0,9 %	1,2 %	1,5 %
Courroies trapézoïdales étroites	0,6 %	0,8 %	1,5 %
Courroies trapézoïdales classiques	0,5 %	0,6 %	0,8 %

■ Contrôle de l'usure des poulies

On surveille l'état d'usure des gorges :

- les gorges d'une poulie doivent être exemptes d'arêtes, parfaitement profilées et d'une propreté méticuleuse ;
- le contrôle dimensionnel des gorges se fait au moyen des jeux de calibres qui sont en principe offerts par le fabricant. Il faut remplacer la poulie quand l'usure devient supérieure à 1,5 mm, sur un côté de la gorge.

■ Contrôle d'alignement

Le défaut d'alignement des poulies est la cause la plus fréquente de l'usure anormale des courroies ainsi que de la détérioration des machines tournantes.

□ Défaut d'alignement angulaire

L'une des poulies forme un angle par rapport au plan de l'autre. Ce défaut a pour effet de diminuer les performances de transmission et provoque une usure prématurée des courroies. Si le défaut est important, les courroies peuvent être éjectées des gorges de poulie.

Pour une courroie trapézoïdale, le défaut angulaire maximal acceptable est de 6° et pour une transmission à plusieurs courroies, de 3°. Par mesure préventive, le défaut angulaire ne doit pas excéder 0,5°.

☐ Défaut d'alignement parallèle

Les deux plans des deux poulies sont parallèles mais décalés. Ce défaut est généralement moins grave que le défaut angulaire mais il entraîne à la longue les mêmes dégâts pour les courroies et les poulies. L'écart maximal accepté est de 1,5 mm.

☐ Contrôle à la règle

Pour le contrôle d'alignement (figure 4.19), on dispose :

- soit d'une latte rectiligne, éventuellement magnétique,
- soit d'un ruban d'acier pour les transmissions à entraxe important,
- soit à défaut d'une ficelle (dernier ressort).

Une méthode d'observation simple consiste à faire tourner doucement à la main les poulies et à regarder le sens de déplacement des courroies par rapport à l'axe de la poulie. Si, en inversant le sens de rotation, les courroies se déplacent toujours dans le même sens, c'est qu'il y a un désalignement angulaire.
Les axes des poulies, c'est-à-dire l'arbre menant et l'arbre mené, peuvent avoir aussi un défaut de parallélisme.
Dans certains cas, l'usage d'un niveau à bulles pour la vérification de l'horizontalité ou de la verticalité est nécessaire.

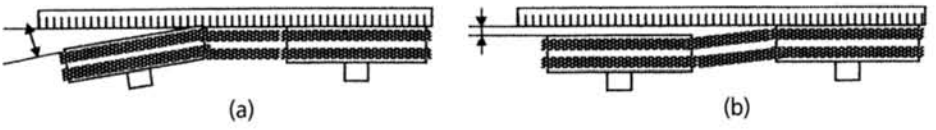


Figure 4.19 – Défaut d'alignement (a) angulaire et (b) parallèle.

☐ Contrôle au laser

Le dispositif est composé d'un émetteur laser et d'un réflecteur. Ils sont montés respectivement sur chacune des poulies.
La position de la ligne laser émise sur le réflecteur indique les défauts de décalage et angulaire vertical. La ligne laser réfléchie sur l'émetteur montre le défaut angulaire horizontal. Le bon alignement est réalisé lorsque les lignes laser sont sur leurs références (au centre) respectives (figure 4.20).

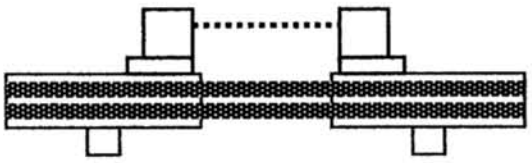


Figure 4.20 – Contrôle d'alignement au laser.

■ Règles de remplacement des courroies

- Dans le cas d'une transmission avec plusieurs courroies, si un remplacement est envisagé, il doit se faire pour toutes les courroies. Les courroies déjà en service sont légèrement usées et détendues. Un mélange de courroies anciennes et de courroies neuves réduit la durée de vie des courroies neuves car elles seront plus serrées et fournissent plus que leur part d'effort.
- Des courroies de fabrications différentes peuvent avoir des caractéristiques différentes. Même des différences minimes peuvent provoquer une tension anormale et écourter la durée de vie des courroies travaillant les unes contre les autres.
- Pour éviter les différences de caractéristiques, les courroies doivent être toujours commandées en jeux appariés.
- Les courroies dites « compatibles en jeux » possèdent un marquage à deux chiffres indiquant leur appartenance à un groupe de tolérances. Ce marquage est souvent entouré d'un rond ou d'un losange. Les courroies équipant la même transmission doivent être munies de codes identiques ou très voisins.
- L'écart entre les cotations est de l'ordre de 2 mm pour des courroies jusqu'à 1 800-2 000 mm de longueur et de 3 mm pour des courroies de longueur supérieure.
- Les courroies les plus courtes doivent être placées côté palier.
- Le système d'appariement répondant aux tolérances UNISET garantit des longueurs absolument identiques. Dans ce cas, il est inutile de se soucier du numéro d'appairage.
- Lorsque les marquages des courroies usagées sont devenus illisibles, mesurer soigneusement la largeur en utilisant des calibres de contrôle.
- Ne jamais utiliser de courroies légères sur des applications lourdes industrielles, même si elles donnent l'impression de s'adapter aux gorges des poulies.

4.3.4 Montage et précautions

■ Montage des courroies trapézoïdales

Avant le montage, il est nécessaire de réduire l'entraxe, les courroies trapézoïdales doivent être mises en place dans les gorges sans subir aucune contrainte. Toute traction excessive de la courroie sur les bords de la poulie est susceptible d'endommager la fibre de traction de haute qualité qui ne présente qu'une extensibilité réduite.
Les courroies trapézoïdales ne nécessitent aucun produit spécial, l'utilisation de cire ou autre produit similaire est absolument à proscrire.
Lors des premières heures de service, il est recommandé de surveiller la transmission et de retendre les courroies en principe après un fonctionnement en pleine charge d'environ 30 minutes à 4 heures.

■ Galets tendeurs

Si l'on utilise des galets tendeurs sur des transmissions à courroies trapézoïdales étroites, ceux-ci doivent comporter une poulie à gorge portant sur l'intérieur de la transmission, de préférence côté brin mou. La poulie tendeur doit être placée le plus près possible de la grande poulie.

Les galets tendeurs plats portant sur l'extérieur de la transmission sont possibles seulement dans le cas de courroies classiques. Ils doivent être placés à une distance d'environ un tiers d'entraxe de la poulie motrice.
Le diamètre d'un galet tendeur doit être au moins égal à celui de la petite poulie de la transmission.
La course de réglage du galet tendeur ne peut être déterminée que par l'établissement d'un plan à échelle de la transmission. Elle doit permettre le montage des courroies par-dessus le diamètre extérieur de l'une des poulies, et doit également prévoir un allongement de la courroie de 1 % durant la durée de vie de la courroie.

■ Montage des poulies

- Graisser les arbres avant de procéder au montage des poulies.
- Les poulies doivent venir buter contre leur bague d'arrêt.
- Éviter dans tous les cas les coups de marteau.
- Vérifier l'alignement avec une règle et s'assurer que la distance entre les centres de poulie motrice et de poulie réceptrice est correcte.
- Il est impératif que le désalignement des poulies ne dépasse pas 1°.

■ Carter de protection

Selon l'article R. 233-15 du Code du travail, les éléments mobiles de transmission doivent être équipés de protection contre l'accès dangereux.
Le carter de protection doit être en treillis métalliques pour permettre une bonne aération et une facilité de surveillance quotidienne.

■ Stockage

En pratique les courroies stockées plusieurs années en magasin gardent leurs propriétés intactes. Dans le cas de conditions défavorables ou de manipulation incorrecte, les propriétés des caoutchoucs peuvent être modifiées. Ces changements peuvent se produire par exemple par l'environnement d'acide, ozone, température trop haute, lumière, humidité ou solvant.

□ Lieu de stockage

- Le local doit être frais, sec, aéré et sans trop de courant d'air.
- Ne pas stocker près d'une source de chaleur.
- Ne pas exposer les courroies aux rayons directs du soleil ni à une forte lumière artificielle avec un taux important d'ultraviolet.
- Éviter l'ambiance empoisonneuse telle que les étincelles.
- Les produits inflammables, les lubrifiants, les acides et autres produits agressifs doivent être tenus à l'écart. Ils sont nuisibles pour les élastomères et les textiles.

□ Modes de stockage

- Les courroies sont de préférence suspendues à des supports circulaires de grand diamètre ou au minimum de dix fois la hauteur de la section des courroies.
- Ne pas suspendre les courroies à des clous ou à des crochets.

- Les courroies de courtes longueurs peuvent être stockées sur des rayonnages. Éviter toutefois de les entasser sur plus de 300 mm de hauteur car cela peut conduire à la déformation de celles qui sont en bas des piles.
- Ne pas attacher les courroies en les serrant fortement avec de la ficelle.
- Les courroies de grandes longueurs peuvent être enroulées une ou deux fois sur elles-mêmes de façon à ce qu'elles soient très lâches (figure 4.21).

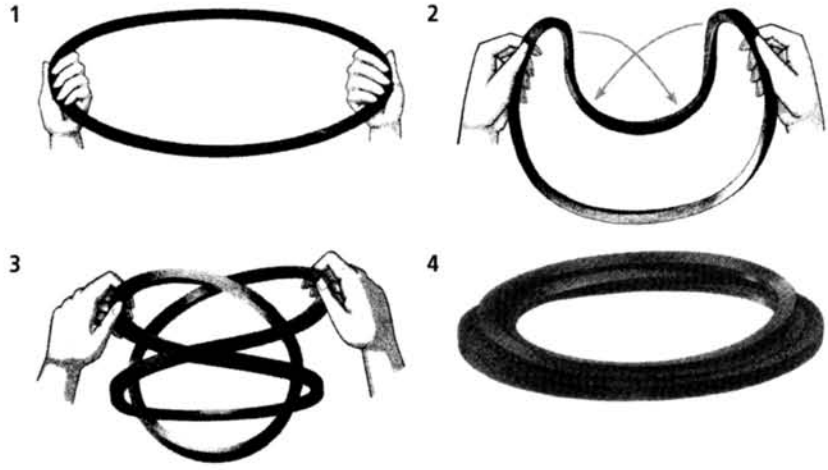


Figure 4.21 – Pliage des courroies de grandes longueurs.

■ **Nettoyage**

- Pour les nettoyages, utiliser un chiffon imbibé de mélange de glycérine et d'alcool.
- Ne pas utiliser les solvants tels que l'essence, le benzol, la térébenthine et autres produits similaires.
- Éviter de gratter avec des objets tranchants. Il ne devra être utilisé en aucun cas du matériel tel que ponceuse, brosse rotative, papier de verre qui pourrait endommager mécaniquement les courroies.

4.4 Chaînes et roues de transmission

4.4.1 Types de chaînes

■ **Chaînes à rouleaux de précision**

Une chaîne à rouleaux de précision est formée d'une succession d'articulations rendues étroitement solidaires les unes des autres par les plaques des maillons. Chaque articulation se compose d'un axe et d'une douille autour de laquelle tourne le rouleau (figure 4.22).

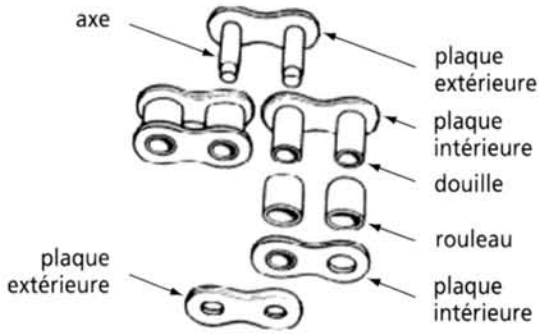


Figure 4.22 – Éléments de chaîne à rouleaux.

Les axes et les douilles sont cémentés et trempés afin de permettre aux articulations de travailler sous des pressions élevées, de résister aux charges et à l'action d'engrènement transmises par l'intermédiaire des rouleaux de la chaîne.
Toutes les chaînes sont classées selon le pas (distance entre les axes des deux maillons consécutifs), le diamètre des rouleaux et la distance entre les plaques intérieures. Ces dimensions d'engrènement déterminent la forme et l'épaisseur de la denture de la roue.

■ Chaînes à douilles

Ces chaînes ne comportant pas de rouleaux, l'engrènement se fait directement sur les douilles (figure 4.23).

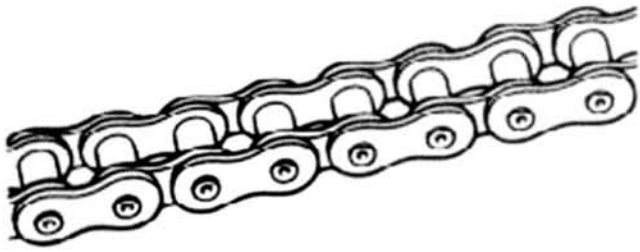


Figure 4.23 – Chaîne à douilles.

■ Chaînes à pas long

Elles possèdent les axes, les douilles et les rouleaux des chaînes à pas court, mais leurs plaques intérieures et extérieures ont un pas double de celui des chaînes de base (figure 4.24).
Les chaînes à pas long sont utilisées pour des applications qui demandent une vitesse et une puissance transmises inférieures à celles fournies par les chaînes à pas court équivalentes. Elles sont recommandées pour les applications à vitesse lente présentant de grands entraxes.

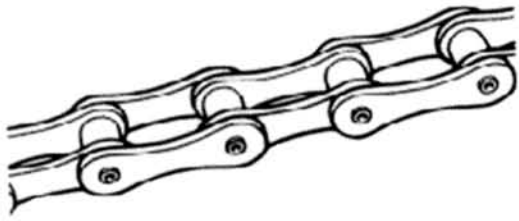


Figure 4.24 – Chaînes à pas long.

■ **Chaînes à maillons coudés**

Ces chaînes comportent un seul type de maillon, ce qui permet de les raccourcir ou de les allonger d'un seul pas. Elles sont utilisées pour les transmissions à vitesse lente et exposées aux intempéries (figure 4.25).

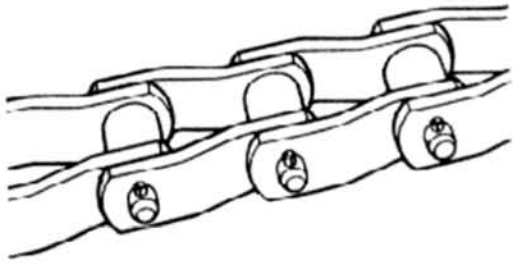


Figure 4.25 – Chaîne à maillons coudés.

■ **Roues et pignons**

En général, les pignons sont en acier et les roues, en fonte. Les alésages peuvent être cylindriques ou coniques pour pouvoir recevoir des moyeux capables de s'adapter à tous les arbres (figure 4.26).

4.4.2 Règles de montage

- S'assurer que les arbres sont correctement supportés par les paliers. Les roues doivent être placées près des paliers.
- Un alignement précis des arbres et des faces de denture assure une répartition uniforme de la charge sur toute la largeur de la chaîne.
- Il est nécessaire de prévoir un réglage de la longueur de la chaîne de préférence par déplacement d'un des arbres. Si ce type de réglage n'est pas possible, il est recommandé de monter un pignon tendeur engrenant le brin mou de la chaîne. En règle générale, le tendeur doit avoir le même nombre de dents que le pignon.
- S'assurer que la vitesse ne dépasse pas la vitesse maximale caractéristique de la chaîne concernée.

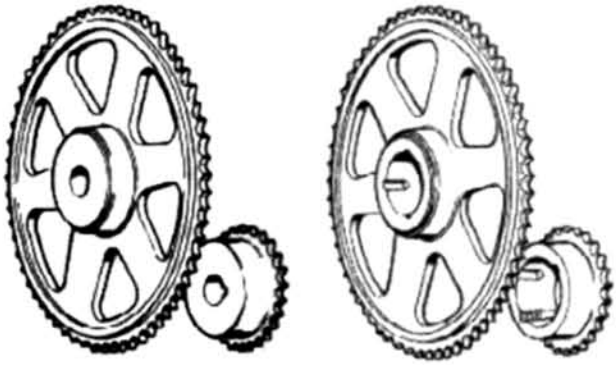


Figure 4.26 – Roues et pignons.

- Le tendeur doit être monté de façon à ce que trois dents au moins engrènent la chaîne.
- La chaîne doit être tendue régulièrement de façon à permettre un battement entre la position haute et basse d'un point pris au milieu du brin mou (figure 4.27).

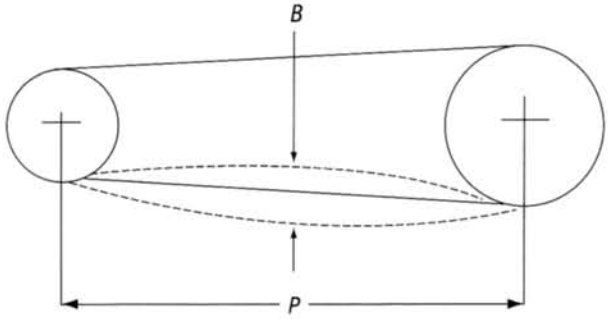


Figure 4.27 – Battement de la chaîne. *B* est le battement total. *P* est la projection de l'entraxe sur l'horizontale. $B = \frac{P}{K}$ avec $K = 25$ pour une transmission à charge régulière et $K = 50$ pour une transmission avec à-coups.

4.4.3 Entretien préventif

■ Lubrification

La lubrification s'effectue en règle générale à l'huile. La graisse n'est utilisée qu'en cas de fonctionnement lent et en atmosphère oxydante ; la chaîne est alors périodiquement démontée, nettoyée et immergée dans un bain de graisse chauffée à environ 60 °C.

☐ Lubrification manuelle

La lubrification se fait manuellement avec un pinceau.

☐ Lubrification par compte-gouttes

Dans le cas où l'accès est difficile, un système de compte-gouttes ou de brosse compte-gouttes distribue directement de l'huile aux articulations.

☐ Lubrification par barbotage

Soit le point le plus bas de la chaîne trempe dans l'huile, soit l'huile est entraînée par un disque solidaire du pignon inférieur, et répartie par un déflecteur.

☐ Lubrification automatique par circulation

L'huile, envoyée par une pompe de circulation, est projetée sur la face interne de la chaîne.

- En cas de chaîne extrêmement chargée, une huile extrême pression est nécessaire.
- En cas de fonctionnement à température élevée, on augmentera la viscosité ; au-dessus de 150 °C, il faut un lubrifiant sec ou de synthèse (tableau 4.9).

Tableau 4.9 – Lubrification des chaînes de transmission.

Mode de lubrification	Vitesse linéaire	Puissance	Viscosité lubrifiant à 50 °C	Remplacement
Manuel	< 1 m/s	< 5 CV	3 à 6° Engler	
Compte-gouttes	< 1 m/s	< 5 CV	3 à 6° Engler	
	< 2 m/s	Toutes puissances	6 à 12° Engler	
Barbotage	Entre 2 et 7 m/s	< 20 CV	3 à 6° Engler	Suivant le degré de pollution et d'oxydation de l'huile ou toutes les 2 400 heures environ.
		> 20 CV	6 à 12° Engler	
Automatique	> 7 m/s	< 10 CV	2 à 3° Engler	
		Entre 10 et 50 CV	3 à 6° Engler	

☐ Cartouche de graissage automatique

La lubrification au pinceau peut être réalisée automatiquement avec des cartouches de graissage Perma équipées d'un pinceau circulaire ou d'un boîtier de graissage muni d'une brosse tournante.

Le type de cartouche, dont dépend la durée de distribution, est déterminé par la longueur de la chaîne et la température ambiante.

■ Mesure de l'usure

Dans toutes les chaînes, le frottement intervient à chaque changement de courbure du chemin suivi par la chaîne. On mesure l'usure en calculant l'allongement de la longueur nominale de la chaîne, de la manière suivante (figure 4.28) :

- étendre la chaîne sur une surface plane ;
- fixer une extrémité à un point ;
- attacher l'autre extrémité à un tendeur et un peson ;
- à l'aide du tendeur, exercer sur la chaîne une tension dont la valeur est donnée par les formules suivantes, avec P le pas de la chaîne (en mm) :
  - tension exercée sur chaîne simple : $P^2 \times 0{,}077$ daN ;
  - tension exercée sur chaîne double : $P^2 \times 0{,}146$ daN ;
  - tension exercée sur chaîne triple : $P^2 \times 0{,}216$ daN.

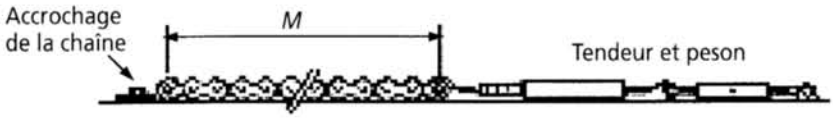


Figure 4.28 – Mesure de l'allongement de la chaîne.

Pour les chaînes à pas long (c'est-à-dire celles ayant une même résistance à la rupture et un pas double), on applique une charge de mesure correspondante à une chaîne à pas court équivalente.
Une méthode plus simple consiste à pendre la chaîne verticalement et à attacher à l'extrémité basse un poids équivalent à la charge donnée par les formules ci-dessus.
On mesure la longueur M correspondant à un certain nombre N de pas. On en déduit le pourcentage d'allongement selon la formule :

$$\text{Pourcentage d'allongement} = \frac{M-(N \cdot P)}{N \cdot P} \times 100$$

En règle générale, une chaîne est considérée comme usée et doit être remplacée quand le pourcentage d'allongement atteint 2 % (1 % dans le cas des chaînes à pas long).
Pour les transmissions sans réglage d'entraxe, la limite d'usure est inférieure, fonction de la vitesse et de l'installation. L'allongement normalement considéré dans ce cas est situé entre 0,7 et 1 %.

4.4.4 Stockage

Quel que soit le type de chaîne, il est important que la conservation en magasin soit précédée d'une application d'huile antirouille.

4.5 Transmissions à cardan

4.5.1 Principe et caractéristiques

Les transmissions à cardan transmettent le mouvement d'une machine motrice à une machine réceptrice. Elles permettent de relier deux arbres décalés l'un par rapport à l'autre et admettent des angles d'articulation coplanaires. Les variations de longueur de l'arbre de transmission sont possibles grâce à deux éléments coulissants.

■ Principe du joint de cardan

Si l'on relie deux bouts d'arbres inclinés l'un par rapport à l'autre d'un angle β à l'aide d'un joint de cardan simple et si l'arbre I est animé d'une vitesse angulaire constante ω_1, l'arbre II sera animé d'une vitesse variable ω_2 (figure 4.29). Le phénomène d'hétérocinétie se traduit par une variation périodique de la vitesse angulaire ω_2 ainsi que par une avance ou un retard de l'angle de rotation de l'arbre II.

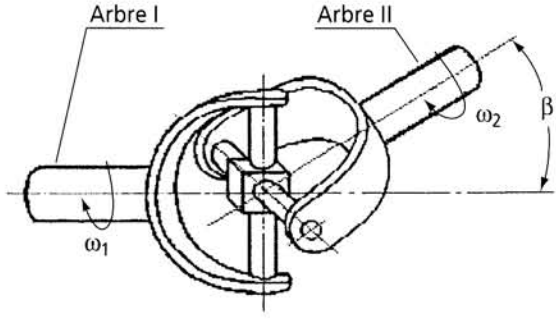


Figure 4.29 – Principe du joint de cardan.

■ Caractéristiques de la transmission

□ Couple de pointe et couple statique maximal

On définit le couple de pointe comme le couple qui peut être transmis. Il se calcule à partir du couple nominal de l'arbre moteur et du facteur de service correspondant à l'élément entraîné.
Pour une transmission donnée, le couple de pointe ne devra en aucun cas dépasser le couple statique maximal. Ce dernier représente une valeur de couple qui peut être supportée sans dommage par la transmission pendant un nombre de cycles limité.

$$C_P = C_N \cdot K \leq C_{SM}$$

avec C_P le couple de pointe, C_N le couple nominal de l'arbre moteur, C_{SM} le couple statique maximal et K le facteur de service.

On définit aussi :

- C_{LF} le couple correspondant à la limite de fatigue,
- C_{PC} le couple pulsé en continu,
- C_{LE} le couple correspondant à la limite élastique.

$$C_{PC} \cong 1{,}7 \times C_{LF}$$

$$C_{LE} \cong 3 \text{ à } 4 \times C_{LF}$$

L'unité utilisée pour les couples est le newton mètre (Nm).

Tableau 4.10 – Facteur de service *K*.

Mode de sollicitation	Élément entraîné	Facteur de service
Charge constante	Pompe centrifuge – Générateur à charge constante – Bande transbordeuse peu chargée – Ventilateur léger	1,2 à 1,5
Légers chocs	Générateur à charge variable – Bande transbordeuse à charge variable – Ventilateur moyen – Machine-outil – Machine d'imprimerie – Machine à bois – Machine textile – Machine à papier légère	1,5 à 2
Chocs moyens	Pompe à piston multicylindre – Compresseur multicylindre – Ventilateur lourd – Ligne d'arbre navale – Calandre – Table de transfert à rouleaux – Train à petits fers marchands – Poulie légère – Petit laminoir à tube – Entraînement primaire sur locomotive – Machine textile – Machine à papier lourde	2,5
Chocs importants	Compresseur monocylindre – Pompe monocylindre – Mélangeur – Direction de pont roulant – Drague – Machine à cintrer – Presse – Machine à forer rotative – Entraînement principal sur locomotive – Table de travail continu à rouleaux – Train à fers moyen – Laminoir lourd en continu – Laminoir oblique à tube	3
Chocs très importants	Rouleau en cage – Rouleau enveloppeur de bobineuse – Table de travail réversible à rouleaux – Laminoir lourd en réversible – Transport vibrant – Décalamineuse	4 à 6

■ Catégories de transmissions à cardan

On classe les transmissions à cardan en trois catégories, caractérisées par les capacités correspondant aux valeurs de couples maximales admissibles.

Tableau 4.11 – Catégories de transmissions à cardan.

Série	Capacité	Principales applications
Séries légères et moyennes	de 150 à 2 400 Nm	Toutes les installations de mécanique générale
	de 3 000 à 23 000 Nm	Engins fixes et de terrassement, engins ferroviaires, appareils de levage, installations sidérurgiques, navires Toutes les installations de mécanique générale
Séries semi-lourdes	de 25 000 à 160 000 Nm	Engins ferroviaires, installations sidérurgiques, appareils de levage, construction navale Toutes les installations de mécanique générale
	de 44 000 à 720 000 Nm	Installations sidérurgiques et calandres
Séries lourdes	de 1 060 000 à 10 000 000 Nm	Transmissions principales de mouvement dans les laminoirs Toutes les installations de mécanique lourde

4.5.2 Conditions d'utilisation

■ Nombre de joints de cardan

- L'emploi d'un joint de cardan simple ne peut être envisagé que pour des cas d'application où la notion de mouvement homocinétique n'a que peu d'importance.
- L'emploi d'une transmission à deux joints de cardan, l'un compensant les irrégularités cycliques de l'autre, permet d'obtenir une vitesse de rotation régulière de l'arbre mené.

■ Angles d'articulation

□ Angularité maximale admissible

L'angle maximal d'articulation par joint de cardan varie de 5° à 35° suivant les types et les séries. L'étude expérimentale montre qu'il existe certaines valeurs limites D à ne pas dépasser si l'on veut que la transmission tourne sans vibrations anormales :

$$D = N \cdot \beta$$

avec N la vitesse de rotation (en tr/min) et β l'angle d'articulation (en degrés). Ces valeurs sont données par des abaques fournis par les constructeurs.

□ Différence angulaire acceptable

En principe, les angles d'articulation β_1 et β_2 doivent être égaux pour le montage en Z ou en W. C'est la condition de base d'un fonctionnement homocinétique (figure 4.30).
Dans la pratique, cette égalité ne peut pas être toujours réalisée. En effet, la question est de savoir quelle est la différence acceptable entre β_1 et β_2. Il n'existe pas de règle qui serait commune à tous les cas. À chaque application, il faudra examiner l'influence de la vitesse de rotation, des moments d'inertie massique, de la torsionabilité, etc.

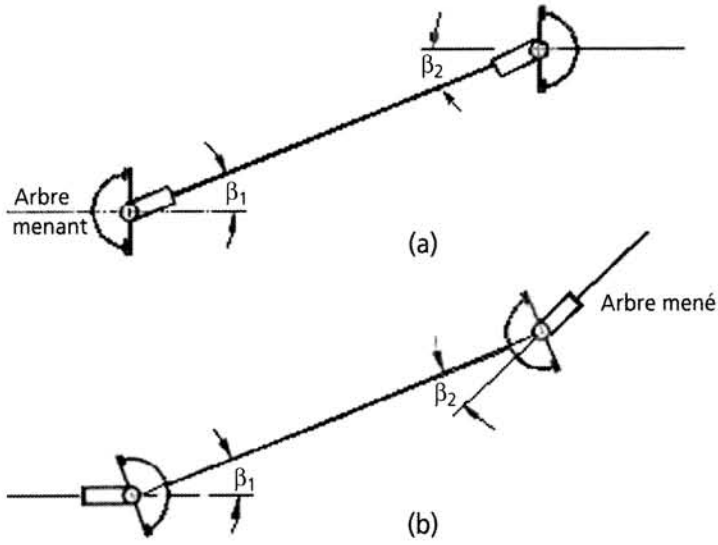


Figure 4.30 – Montages des cardans (a) en Z et (b) en W.

Pour des allonges lourdes utilisées à vitesse élevée, la différence entre β_1 et β_2 ne pourra pas dépasser 1° à 1,5°. Des différences plus importantes, de l'ordre de 3° à 5°, pourront être tolérées sur des installations tournant très lentement.

■ Fractionnement d'une ligne de transmission

Dans le cas où la distance entre les éléments à relier est importante, il faut scinder la ligne de transmissions en deux ou plusieurs parties (figure 4.31).
Dans la réalité, il convient de déphaser de 90° les mâchoires des transmissions à cardan disposées de part et d'autre d'un réducteur ou d'un palier.

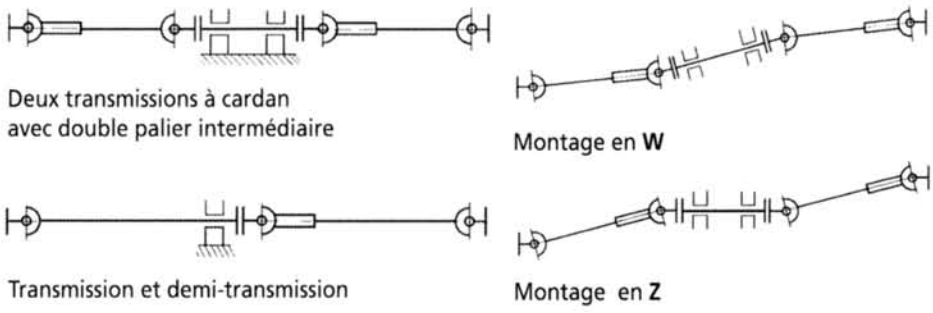


Figure 4.31 – Fractionnement des lignes de transmission.

■ Règles de montage

- Nettoyer la face de joint des mâchoires à bride et des manchons d'accouplement ; il ne doit pas subsister de produit antirouille, de graisse ni de peinture.
- Les mâchoires (1) de l'arbre intermédiaire doivent être coplanaires, lorsque les flèches repères (2) doivent être alignées (figure 4.32).
- Enlever la sécurité de transport.
- Contrôler la concentricité du manchon d'accouplement, la planéité de la face de joint et les tolérances du diamètre de centrage.
- Ne pas faire tourner la transmission en introduisant des leviers entre les mâchoires, pour éviter de détériorer les étanchéités, graisseurs ou soupapes de sécurité.
- Serrer en croix la boulonnerie de liaison à l'aide d'une clef dynamométrique.
- Ne lubrifier la vis que légèrement.
- Veiller lors de la mise en peinture à ne pas recouvrir la partie rilsanisée des embouts de coulisse.

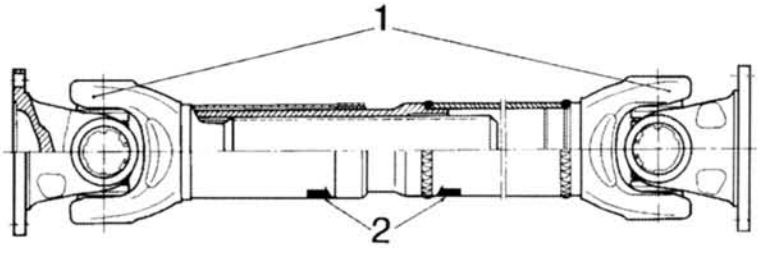


Figure 4.32 – Transmission à cardan.

4.5.3 Entretien préventif

■ **Vérification du bruit**

Dès que l'on entend des bruits différents de ceux occasionnés par le fonctionnement normal, il faut en rechercher la cause et y remédier.

■ **Graissage**

Les transmissions à cardan possèdent trois points de graissage :

- sur le 1er joint de cardan (croisillon) ;
- sur le 2e joint de cardan (croisillon) ;
- sur la partie coulissante.

La périodicité de graissage est de 3 à 6 mois. Elle est de 12 mois pour les cardans à lubrification longue durée.
On utilise la graisse au lithium ; pénétration 2 (DIN 51804) ; point de goutte de 448 à 458 K (175 à 185 °C) DIN 51801. L'additif MoS_2 est à éviter.
Pour un délai de stockage ou un arrêt de l'installation au-delà de 6 mois, il faut faire un apport de graisse avant la mise en service.

■ **Contrôle de l'état**

Il s'agit d'un contrôle annuel de l'état de l'ensemble de la transmission, du serrage des vis d'assemblage, de l'état d'usure des croisillons.
Le contrôle de jeu concerne les paliers de la transmission à cardan (roulement des tourillons du croisillon) ainsi que les pièces coulissantes.

4.6 Chaînes et roues de manutention

4.6.1 Types de chaînes

La chaîne de manutention de précision comme la chaîne de transmission est constituée d'une suite d'articulations réunies par des plaques latérales. Chaque articulation est composée d'un axe et d'une douille autour de laquelle tourillonne le galet. L'axe et la douille sont en acier cémenté trempé qui autorise sur les articulations des pressions élevées, pressions résultant des charges transportées et des effets à l'engrènement (figure 4.33).
Il existe deux sortes de galets : plats et épaulés. Les galets plats de petit diamètre, les plus utilisés, sont appelés rouleaux. Les galets épaulés sont nécessaires pour le guidage lorsque les entraxes sont très importants ou lorsque des poussées latérales existent notamment au droit du chargement (figure 4.34).

■ **Chaînes à axes creux**

Les chaînes à axes creux permettent une fixation aisée des attaches sur les maillons extérieurs en les boulonnant au travers des axes creux (figure 4.35). Elles conviennent pour toutes les applications utilisées dans des conditions normales.

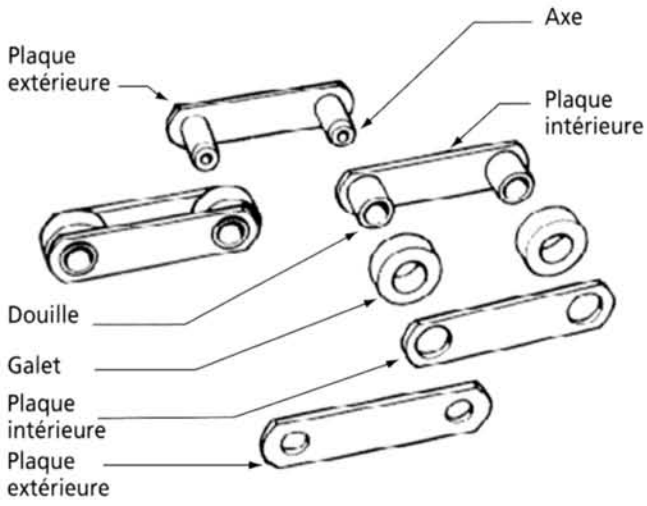


Figure 4.33 – Chaîne de manutention.

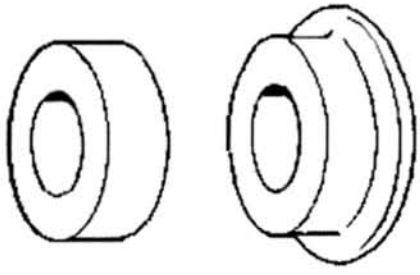


Figure 4.34 – Galet plat et galet épaulé.

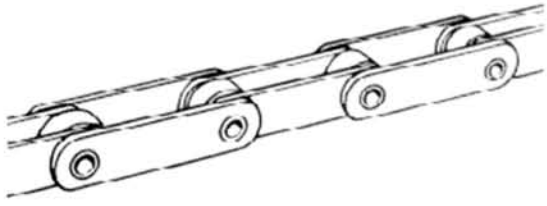


Figure 4.35 – Chaîne à axes creux.

■ Chaînes à axes pleins

Ces chaînes présentent les mêmes caractéristiques d'engrènement que les chaînes à axes creux mais sont plus résistantes (figure 4.36). Elles sont destinées à des applications plus difficiles.

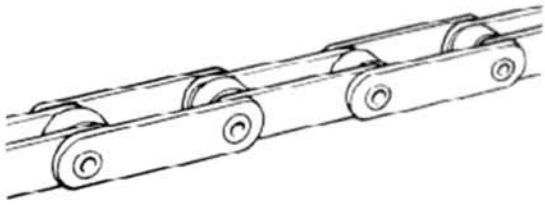


Figure 4.36 – Chaîne à axes pleins.

■ Chaînes à plaques excentrées

Les plaques excentrées permettent la dépose directe des charges qui peuvent ainsi rouler sans que les galets puissent entrer en contact avec les objets à transporter (figure 4.37).

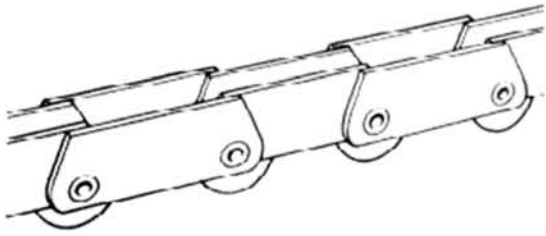


Figure 4.37 – Chaîne à plaques excentrées.

4.6.2 Accessoires principaux

■ Attaches

Les attaches permettent d'adapter les chaînes de base dans toute application particulière de manutention. Elles peuvent faire partie intégrante de la plaque latérale ou être rapportées sur celle-ci ; dans ce cas, elles sont fixées par soudure, rivetage ou boulonnage sur un ou deux côtés du maillon (figure 4.38).

■ Galets extérieurs

Les galets extérieurs présentent des avantages essentiels (figure 4.39) :

- ils supportent le poids des charges alors que les galets normaux sont seulement destinés à l'engrènement ;
- en cas d'usure rapide, leur remplacement peut s'effectuer aisément sans changer les chaînes ;
- ils assurent la stabilité de la chaîne ;

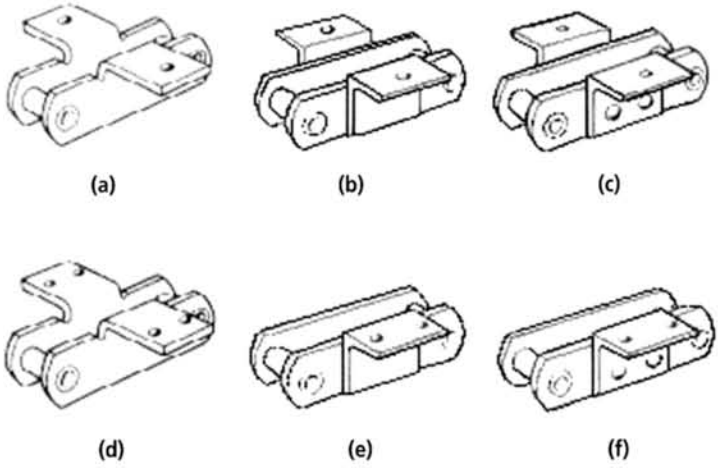


Figure 4.38 – (a) Plaque attache K1 (b) soudée ou (c) rivée et (d) plaque attache K2 (e) soudée ou (f) rivée.

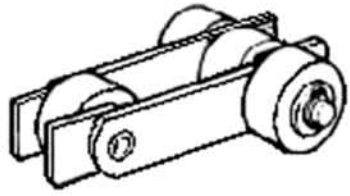


Figure 4.39 – Galet extérieur.

- les galets étant montés sur billes, le coefficient de roulement est excellent ; on peut donc diminuer l'effort dans la chaîne et réduire la puissance absorbée ;
- ils conviennent lorsque la forme des attaches empêche l'utilisation d'un roulement central ;
- ils acceptent des charges locales très élevées.

■ Roues

Les roues de manutention sont généralement en fonte avec moyeu déporté. Dans les applications telles que les élévateurs à alimentation à la volée ou les convoyeurs en masse, la denture des roues doit être déportée pour éviter l'accumulation des matériaux en fond de dents qui risquerait de faire monter la chaîne sur le sommet des dents et entraînerait une tension excessive et, par suite, un mauvais engrènement puis la rupture de la chaîne (figure 4.40).

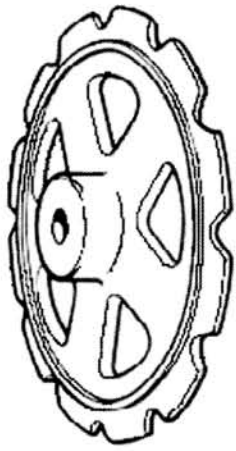


Figure 4.40 – Roue.

4.6.3 Caractéristiques

■ Chaînes

Le pas d'une chaîne dépend de la grandeur des intervalles entre les attaches, de la vitesse du convoyeur et de l'encombrement disponible entre les roues.
L'effet polygonal est grand quand le nombre de dents est petit et la douceur de marche en est altérée. Il faut donc choisir les roues ayant le plus grand nombre de dents possible et qui soient compatibles avec les autres impératifs, c'est-à-dire le pas, l'espacement des attaches et les conditions d'emploi et d'ambiance.
Les applications ou conditions de travail des convoyeurs sont classées en six groupes.

□ Produits emballés

Exemple : balles, tonneaux, caisses, etc.

□ Matériaux abrasifs en vrac

Exemple : cendres, ciments, charbons « tout venant », gypse, minerai de fer.

□ Matériaux non abrasifs en vrac

Exemple : charbons (tendres et secs), coke, farine, grains, sciure, savon (paillettes), céréales.
Généralement, on utilise les chaînes à axes pleins.

□ Applications à température élevée

Exemple : fours de boulangerie, séchoirs, fours à émailler, laine de verre, etc.
Les chaînes standard conviennent parfaitement lorsque les températures ne dépassent pas 300 °C. Au-delà de cette température, les chaînes doivent être en acier réfractaire.

□ **Ambiance humide : eaux froides ou vapeurs**

Exemple : laveuse de bouteilles, stérilisateurs.
Selon le degré de résistance à la corrosion recherchée, on choisira le zingage de tous les composants, les chaînes entièrement en inox ou les articulations en acier inox et les autres zinguées.

□ **Ambiance humide : acide et alcaline**

Exemple : applications en industrie chimique.
Dans ce cas, les paramètres à prendre en compte sont le degré d'acidité ou d'alcalinité, une ambiance de vapeurs ou de liquides et la température de travail.

■ Galets

La matière des galets est fonction de l'application. Des galets en acier ordinaire ou en fonte couvrent la majorité des cas. Il peut y avoir quelques exceptions :

- matériaux abrasifs en vrac : galets en acier traité,
- ambiance humide neutre : galets en acier zingué,
- ambiance humide agressive : galets spéciaux.

■ Roues

La roue peut être assimilée à un polygone dont le nombre de côtés serait égal au nombre de dents. Pendant la rotation de la roue, la chaîne, à son point d'engagement et de désengrènement, s'élève ou s'abaisse par rapport à l'axe de la roue. L'effet polygonal est inversement proportionnel au nombre de dents ; il faut choisir le plus grand nombre de dents possible (tableau 4.12).

Tableau 4.12 – Nombre de dents.

Applications	Nombre de dents
Convoyeurs à palettes, à barres, à tablier métallique, à tablier grillagé	8 à 12
Élévateurs à peigne et élévateurs similaires	8 à 12
Élévateurs à fûts, paquets	8 à 12
Élévateurs à balancelles	16 à 24
Convoyeurs alimentateurs	6 à 8
Convoyeurs à raclettes	8 à 10
Convoyeurs en masse	8 à 10

■ Vitesses normales de fonctionnement

Tableau 4.13 – Vitesses normales de fonctionnement.

Applications	Plage normale de vitesse (m/min)
Convoyeurs à palettes, à barres, à tablier métallique, à tablier grillagé	Jusqu'à 30
Élévateurs à peigne et élévateurs similaires	6 à 18
Élévateurs à fûts, paquets	3 à 15
Élévateurs à balancelles	6 à 18
Convoyeurs alimentateurs	1,5 à 6
Convoyeurs à raclettes	12 à 30
Convoyeurs en masse	18 à 30

Tableau 4.14 – Vitesses normales de fonctionnement des élévateurs à godets.

Élévateur à godets	Plage normale de vitesse (m/min)
Godets espacés	
Grande vitesse : vertical (1 ou 2 chaînes)	50 à 105
Vitesse moyenne : incliné (1 ou 2 chaînes)	45 à 55
Vitesse lente : vertical (2 chaînes)	37 à 44
Godets continus	18 à 30
Vitesse moyenne : vertical ou incliné (1 ou 2 chaînes)	12 à 17
Convoyeurs à godets basculants	12 à 18

4.6.4 Entretien préventif

■ Lubrification

La lubrification doit arriver aux endroits où il y a frottement, c'est-à-dire pénétrer entre la douille et le rouleau et entre la douille et l'axe. Le lubrifiant peut être distribué par goutte à goutte automatique ou de temps en temps manuellement au pinceau. Parfois dans des conditions difficiles, les articulations des chaînes sont munies d'un circuit de graissage axial.

Pour toutes applications normales, une huile minérale de bonne qualité est recommandée (SAE 30 à 50 selon la température ambiante).

Les chaînes travaillant en ambiance abrasive peuvent être graissées avec un lubrifiant sec tel que du graphite colloïdal dans un support volatil. Dans des condi-

tions abrasives très sévères, les articulations des chaînes peuvent comporter un circuit de graissage par le centre des axes de manière à ce que les surfaces d'usure reçoivent les graisses sous-pression. Pour les températures ambiantes comprises entre 100 et 300 °C, un lubrifiant sec est aussi recommandé.
Des lubrifiants spéciaux, le plus souvent solubles, sont employés pour éviter de souiller les emballages destinés à l'alimentation.

■ Réglage de la tension

On doit procéder périodiquement à la vérification de tension, de façon à ce qu'elle soit toujours correcte. Cependant peu de temps après la mise en route, il faudra corriger les effets de rodage.

□ Dispositif de réglage

Le dispositif de réglage est prévu pour absorber l'allongement de la chaîne dû à l'usure. Dans la majorité des cas, on utilise le système de réglage de tension par vis. Quand la tension optimale est atteinte, les vis sont bloquées pour maintenir en position les paliers de la roue tendeur.
Il existe aussi le système de rattrapage automatique de tension par contrepoids, ressort, dispositif pneumatique et hydraulique.

□ Course de réglage

La longueur de la course du réglage dépend de la longueur, de la charge de rupture et du pas de la chaîne :

$$\text{Course de réglage (m)} = \frac{\text{Entraxes (mm)} \times \text{Coefficient}}{\text{Pas de la chaîne (mm)}}$$

Les indices de série indiquent les valeurs de charge de rupture (tableau 4.15).
La longueur de réglage fixe l'allongement maximal avant de procéder au remplacement de la chaîne. Si le chiffre obtenu dépasse deux fois le pas de la chaîne, la garde sera de +1,5 à –0,5 pas, de part et d'autre du point nominal de l'entraxe.
Ainsi, il est possible de supprimer deux pas après usure et de détendre suffisamment la chaîne pour le jonctionnement (figure 4.41).

Tableau 4.15 – Coefficient pour le réglage de la longueur de la course.

Série	Coefficient	Série	Coefficient
1330	0,406	15974/1990	1,016
2665/3230	0,508	26660	1,270
5330/6665	0,762	37830	1,270
10662/13330	1,016		

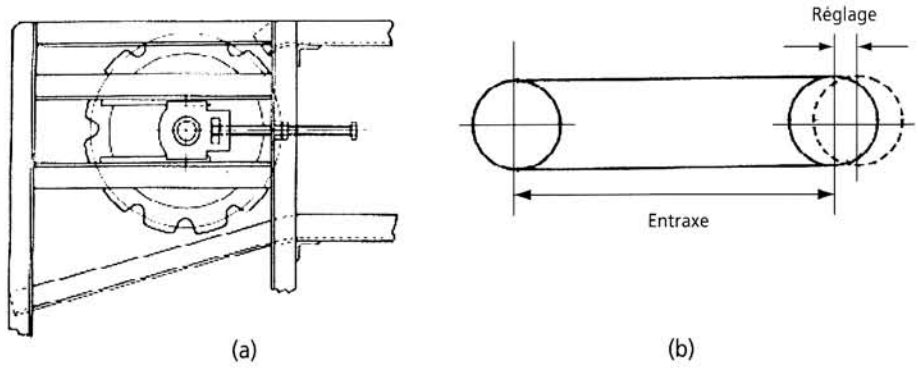


Figure 4.41 – (a) Dispositif de réglage de tension par vis et (b) course de réglage.

4.7 Pompes centrifuges et volumétriques

4.7.1 Types de pompes

On distingue deux principales familles de technologies : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques.

■ Pompes centrifuges

Reposant sur un principe de transfert du produit par rotation rapide, les pompes centrifuges se caractérisent par la possibilité de fournir de gros débits et une aptitude à tourner sans endommagement même lorsque le débit de sortie est coupé en raison de l'inverse proportionnalité entre la pression P et le volume Q du produit pompé (figure 4.42). Elles sont pour la même raison mal adaptées à la fonction de dosage. Il s'agit d'une famille de pompes très normalisées et relativement peu chères (80 % des pompes en service).
Les pompes centrifuges sont adaptées au pompage d'importantes quantités de produits de faible siccité (quelques pour cent) et de faible viscosité (de 1 à 40 cPo). C'est le cas de produits très liquides tels que l'eau (1 cPo), le lait (3 cPo) ou l'huile végétale (30 cPo).

■ Pompes volumétriques

Elles permettent de combattre une contre-pression tout en offrant la possibilité de régler le débit au moyen d'un variateur. De ce fait, elles sont adaptées à la fonction de dosage et capables d'une aspiration beaucoup plus forte que les pompes centrifuges. Elles sont relativement plus chères à l'achat (20 % des pompes en service).
Les pompes volumétriques sont adaptées au pompage des produits tels que les boues, dont la siccité peut atteindre 35 % et la viscosité dépasser 10 000 cPo.

C'est également le cas de la pâte dentifrice (80 000 cPo) ou de la mayonnaise (de 5 000 à 20 000 cPo), de l'encre offset (26 000 cPo) ou de la résine (100 000 cPo) (figure 4.42).

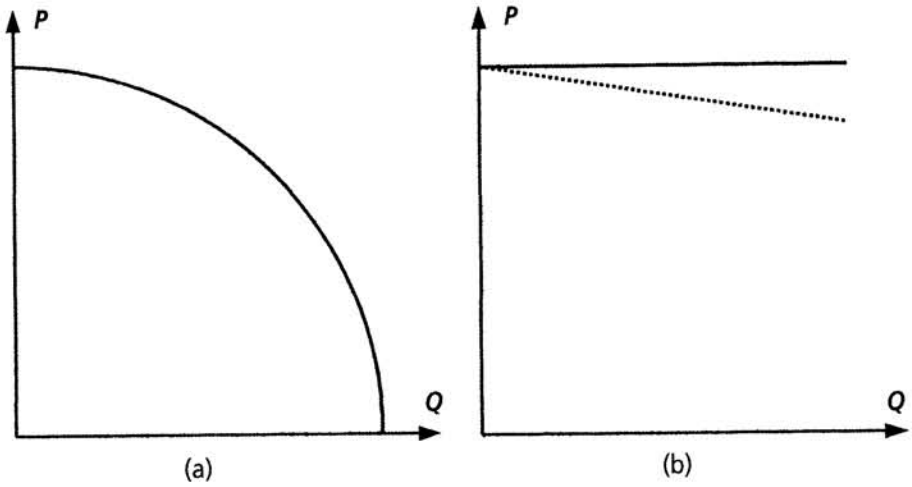


Figure 4.42 – Principe physique de fonctionnement (a) d'une pompe centrifuge et (b) d'une pompe volumétrique.

Les types de pompes étant nombreux, l'analyse fonctionnelle permet de retenir le type de matériel le mieux adapté. Les pompes sont définies par :

- leurs caractéristiques : débit, pression, température, NPSH, pulsatoire ;
- leurs aptitudes : transfert, dosage, intervention, process, marche à sec, viscosité, pompage de produits abrasifs, corrosifs ou fragiles.

■ Autres types de pompes (figure 4.43)

□ Pompes à engrenages

Les engrenages sont à dentures extérieures ou à dentures intérieures. Ces pompes se situent dans les moyennes pressions (250 bar maximum). Les engrenages sont en acier, les corps en alliages légers ou en fonte.

□ Pompes à palettes

Les palettes sont constamment maintenues en contact avec le stator, soit par ressort, soit par force centrifuge pour assurer l'étanchéité. Ce sont des pompes de moyenne pression (250 bar maximum).

□ Pompes à pistons

Ce sont les seules qui permettent d'atteindre les hautes pressions (jusqu'à 500 bar et plus dans certaines conditions).

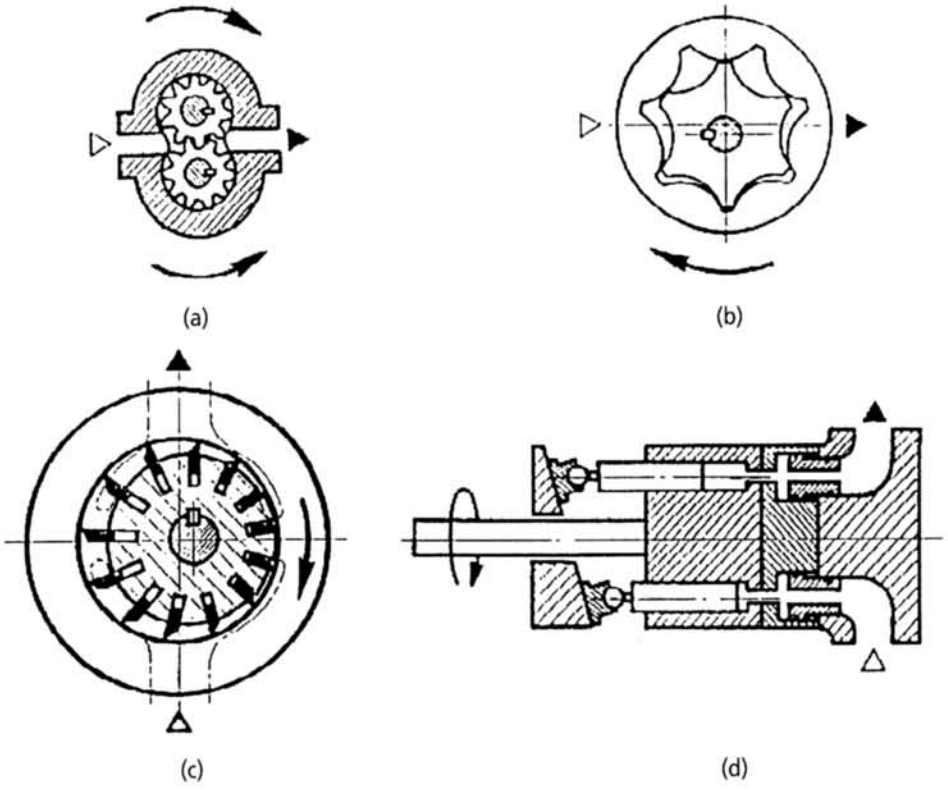


Figure 4.43 – Pompes à engrenages (a) extérieurs et (b) intérieurs. (c) Pompe à palettes. (d) Pompe à pistons patins.

4.7.2 Facteurs de dysfonctionnement

■ Surcharge

Une pompe est choisie d'après certaines conditions spécifiques telles que débit, pression, vitesse... Elle peut fonctionner de temps à autre en surcharge. Mais si on oublie que ce service devrait être rendu occasionnellement et qu'on la fait tourner 24 heures par jour sous ce régime, on obtient une rupture de l'arbre ou des paliers grillés.

■ Mauvais graissage

Si on fait tourner une pompe avec des paliers sans graisse, on finit par un arrêt brutal. Dans ce cas, on s'aperçoit souvent de l'absence de graisseur sur la pompe ou que la pompe concernée n'est pas inscrite dans le plan de graissage.
Le fiabiliste doit veiller à la présence des graisseurs le cas échéant ou les retirer dans le cas des roulements graissés à vie.

■ Fluide inadapté

Si on modifie le critère de pompage en changeant la nature du fluide à véhiculer ou en augmentant la température, les matériaux peuvent ne pas être adaptés. La pompe risque d'être détruite.

■ Fonctionnement à vide

En cas d'absence de contrôle de démarrage, la vanne de refoulement étant fermée, ainsi que la vanne de by-pass, la pompe peut fonctionner à vide. Le débit est nul, toute la puissance fournie se transforme en chaleur. Et puisque le liquide ne circule pas, la chaleur produite ne peut être évacuée. La roue, le fond et la garniture seront endommagés.

■ Mauvais alignement

La pompe et le moteur ne sont pas exactement en face par défaut de l'accouplement, défaut de fixation ou de fondation. Les paliers et l'arbre seront soumis à des vibrations et finiront par se casser.

■ Fuite

Le liquide fuit. Si le liquide est acide, les pièces métalliques extérieures qui sont différentes de la partie hydraulique seront attaquées et rongées. Une fuite abondante provient de l'usure de la garniture ou d'un défaut de tresse.

■ Corps étranger

Des particules solides peuvent s'introduire dans le liquide s'il n'y a pas de crépine d'aspiration ou de protection à l'entrée. Elles peuvent détruire les pièces hydrauliques.

■ Contrainte des tuyauteries

Si les brides des tuyauteries d'aspiration et de refoulement ne sont pas en face de celles de la pompe et si le montage se fait en forçant sur les tuyauteries, une traction anormale s'exerce sur la pompe. Cette traction peut causer des déformations externe et interne de la pompe et un frottement de la roue sur le corps de la pompe. Cela entraînera le blocage de la pompe, l'usinage du corps de la pompe ou la brisure des tubulures d'aspiration et de refoulement.
Ce défaut sera encore accentué par un pompage des fluides chauds. La dilatation sera absorbée par le corps de la pompe qui finira par casser. L'utilisation des joints de dilatation est indispensable.

■ Cavitation

C'est la formation au sein d'un liquide des poches de vide ou de vapeur provoquée soit par l'élévation de température, soit par la diminution de la pression absolue du milieu fluide. Ces deux causes peuvent ou non coexister et chacune d'elles peut être locale ou générale. Il peut se créer des trous pleins de vide autour desquels le liquide bout, qui se remplissent de gaz. Lorsque le liquide arrive dans la zone dans laquelle il reçoit de l'énergie, la pression remonte et les trous ou

poches, comprimés violemment, implosent. Ce phénomène s'accompagne souvent de bruits violents et de vibrations importantes.
Les effets de la cavitation sont nombreux selon le produit (température, tension de vapeur, densité) et le type de pompe (caractéristiques de fonctionnement et matériaux constitutifs).

Effets hydrauliques :

- perte de débit,
- bruits allant du petit cliquetis au bruit de crécelle intense,
- pulsations,
- parfois désamorçage,
- produit changeant de couleur (transformation en une émulsion au gaz).

Effets mécaniques :

- rupture d'arbre,
- fuite de garniture,
- destruction des joints,
- échauffement des paliers,
- érosion des roues, corps, aubes, etc.

4.7.3 Surveillance quotidienne

La surveillance quotidienne a pour but de prévenir l'apparition des anomalies suivantes.

■ Fuite de presse-étoupe

Le presse-étoupe doit toujours laisser suinter le liquide goutte à goutte ou même, si la pompe est assez grosse, laisser couler un petit filet d'eau. La température du presse-étoupe est sensiblement égale à celle du liquide pompé.
Si le débit de fuite est excessif, on pourra serrer doucement le presse-étoupe en prenant soin de serrer toutes les vis pour que son enfoncement soit bien régulier et parallèle. Ce serrage ne doit pas augmenter sensiblement la résistance à la rotation. On essaye de tourner la pompe manuellement pour se rendre compte de l'effet de serrage.
Si le débit de fuite est toujours excessif même après un serrage modéré, il faudra refaire la garniture de presse-étoupe.
Il ne faut jamais serrer exagérément un presse-étoupe. Cela entraîne l'augmentation de la charge du moteur et l'usure rapide de l'arbre.
Pour les pompes à pistons, les garnitures de presse-étoupe doivent être suffisamment serrées pour éviter les fuites de liquide et les entrées d'air. On vérifie simplement qu'il n'y a pas d'échauffement.

■ Fuite de garniture mécanique

Une garniture mécanique ne doit pas fuir. Une fuite plus ou moins importante indique l'usure de la garniture. Elle devra être remplacée.

■ Bruit exagéré de la pompe

Il est normal d'avoir un certain bruit. Ceci est dû aux roulements à billes, aux trépidations et à l'écoulement du liquide dans la pompe. Mais le bruit excessif peut provenir :

- *de la cavitation* : la pompe fait entendre un bruit semblable à un écoulement des cailloux. On dit que la pompe manque d'alimentation et cavite ;
- *d'un corps étranger* : cela vient souvent de l'absence de protection à l'aspiration ;
- *d'une origine mécanique* : les causes sont nombreuses : un grippage du coussinet ; un mauvais alignement de groupe ; un desserrage de vis de fixation de l'accouplement ou de la poulie ; une usure des cuirs ou des bagues en caoutchouc des plateaux d'accouplement ; une mauvaise fixation des tuyauteries d'aspiration ou de refoulement ; une fixation de la pompe sur un support résonnant.

Si malgré toutes les précautions, l'installation fait trop de bruit, il faudra construire un socle suspendu avec des plots amortisseurs.

■ Échauffement des paliers

□ Paliers lisses ou à bagues

Avec un palier normal, la température commence à croître assez vite au démarrage, puis se stabilise peu à peu et tend à redescendre lentement après plusieurs heures. La température peut atteindre au maximum 65 à 70 °C. Le coussinet étant l'origine du dégagement de chaleur, il est sensiblement plus chaud que l'huile.

On peut apprécier l'échauffement au toucher et plus précisément avec un thermomètre plongé dans le bain d'huile. La température d'huile ne doit jamais dépasser 70 °C.

Au démarrage si l'accroissement de température est très rapide et atteint 65 °C, il faut vérifier si cette anomalie ne provient des causes suivantes :

- mauvais réglage de ligne d'arbre ;
- pompe faussée par des efforts dus aux tuyauteries ;
- vibration ;
- poussée due à un accouplement réglé sans jeu.

À la première utilisation, l'échauffement important s'atténue par rodage au bout de quelques heures de fonctionnement. Il faut arrêter immédiatement si on constate un dégagement de fumée.

□ Paliers ou butées à billes

Les paliers ou butées à billes ne doivent pas subir un échauffement important. La température maximale est de 70 °C.

Si l'historique montre une usure prématurée, la remise en cause de l'installation et les conditions de fonctionnement sont nécessaires.

■ Liquide de barrage

Certaines pompes, véhiculées par les produits chimiques, sont équipées de pot de liquide de barrage pour la protection de garniture, il est nécessaire de vérifier régulièrement le niveau de liquide et la pression du pot.

■ **Suivi de l'intensité moteur**

Pour une pompe de criticité importante, le suivi régulier de l'intensité consommée par le moteur permet de suivre l'évolution de l'état de la pompe.

4.7.4 Entretien de la pompe

■ **Graissage des paliers**

□ **Paliers à graissage par bagues ou à billes avec réserve d'huile**

En cas d'échauffement modéré des paliers

À la première utilisation d'une pompe, on surveille la température des paliers. Si l'échauffement paraît normal, le renouvellement d'huile se fait après 24 heures de fonctionnement et par la suite régulièrement toutes les 5 000 heures de fonctionnement.
Le remplissage se fera jusqu'au repère du niveau d'huile. Et ce niveau devra être gardé par l'adjonction d'huile supplémentaire jusqu'à la prochaine date de remplacement. Un contrôle de niveau se fait normalement toutes les 500 heures.
La hauteur d'huile admissible doit être telle que les billes inférieures soient noyées entre 1/10 et 6/10 de leur diamètre.
À chaque remplacement d'huile, le réservoir d'huile de chaque palier doit être rincé au pétrole.

En cas d'échauffement anormal des paliers

En cas d'échauffement anormal, le renouvellement d'huile se fait dans les conditions suivantes :

- une première fois après une demi-heure de fonctionnement ;
- une deuxième fois après 8 nouvelles heures de fonctionnement ;
- une troisième fois après 24 nouvelles heures de fonctionnement ;
- par la suite, toutes les 5 000 heures de fonctionnement.

□ **Paliers à billes étanches à réserve de graisse**

En principe aucun entretien n'est nécessaire pour ces paliers qui sont censés être graissés à vie. On les trouve souvent dans les moteurs électriques.

■ **Nettoyage de crépine ou filtre d'aspiration**

Quand la crépine se bouche, on constate :

- soit une cavitation de la pompe (bruit de cailloux),
- soit une augmentation du vide lu au manomètre d'aspiration,
- soit une diminution de débit.

La fréquence de nettoyage dépend de la propreté du liquide pompé.

■ **Contrôle de l'état de garniture**

□ **Garniture à tresses**

L'étanchéité au passage de l'arbre de commande est généralement assurée par garniture à tresses. Les tresses assurent un laminage au passage du liquide à étancher. Ce laminage, aussi faible que possible, ne doit pas être nul ; il conduirait à un échauffement des tresses et à un grippage sur l'arbre.
La majorité des ennuis de tresse proviennent des garnitures trop ou inégalement serrées, surtout aux premières heures de fonctionnement, pendant lesquelles une fuite peut être abondante. Cette étape de rodage peut durer plusieurs heures.

- Serrer modérément et progressivement le fouloir et laisser fuir goutte à goutte (environ deux litres par heure), ce qui lubrifie, rode et refroidit la garniture.
- Tout excès de serrage provoquerait immédiatement la détérioration des tresses.
- Remplacer la garniture lorsque le fouloir arrive en butée sur la boîte.

□ **Garniture mécanique**

Selon le résultat de la vérification quotidienne (ou au bout de 4 000 heures de fonctionnement), la garniture mécanique sera examinée :

- vérification des faces de frottement des grains ;
- examen de l'état de la chemise d'arbre qui doit être parfaitement exempte de toute rayure sur la portée de joint.

■ **Contrôle d'alignement pompe moteur**

Cette vérification se fait au niveau de l'accouplement (voir § 4.2).

4.7.5 Précautions d'utilisation

■ **Crépine d'aspiration découverte**

La crépine d'aspiration devra être suffisamment immergée. Après un certain temps de pompage, le bassin se vide et la crépine est découverte.
Il y aura lieu d'installer dans le bassin un dispositif à flotteur provoquant l'arrêt du moteur en cas de baisse en dessous du niveau limite ou de fermer partiellement la vanne de refoulement jusqu'à un équilibre de niveau dans le bassin.

■ **Précautions contre le gel ou la cristallisation**

À l'arrêt, si le produit pompé risque de se solidifier par l'action du froid ou par réaction chimique, il faut vidanger la conduite d'aspiration et la conduite de refoulement. Pendant cette opération, on laisse toujours entrer l'air aux points hauts du volume à vidanger.
Par exemple, pour vidanger les tuyaux de distribution, il faut ouvrir tous les robinets.

■ **Arrêt prolongé**

□ **Mise en arrêt**

- Vidanger la pompe et les tuyauteries d'aspiration et de refoulement.

- Retirer les garnitures de la boîte à étoupe.
- Graisser légèrement les parties métalliques usinées.
- Faire tourner manuellement la pompe de temps en temps et s'assurer qu'il n'y a rien d'anormal.

□ **Démarrage après arrêt prolongé**

- Refaire les garnitures de la boîte à étoupe.
- Contrôler l'état du moteur.
- Remplir la pompe de liquide et vérifier qu'elle tourne librement à la main. Débloquer si nécessaire à l'aide d'un levier en prenant appui sur les doigts d'accouplement et en donnant des secousses légères.

Si une pompe équipée de garniture mécanique ne tourne pas librement avec une rotation manuelle, il ne faut pas la forcer. Il est probable que les deux faces de la garniture sont bloquées par le résidu du produit pompé. Forcer la rotation détruirait irrémédiablement la garniture. Dans ce cas, démonter et essayer de les décoller en tapant légèrement ou en les trempant dans du pétrole. Remplacer la garniture si nécessaire.

4.8 Surpresseurs à pistons rotatifs

4.8.1 Principe de fonctionnement

Le surpresseur est constitué de deux rotors en forme de huit tournant en sens inverse l'un par rapport à l'autre. Chaque lobe des rotors entraîne une quantité d'air égale exactement à un quart de cylindrée du surpresseur (figure 4.44).
Ce processus d'entraînement d'air, vers la sortie du surpresseur, se produit quatre fois par tour. Des engrenages de distribution positionnent avec précision les deux rotors. Le rendement volumétrique est plus élevé lorsque la tolérance entre ces deux rotors est plus serrée.

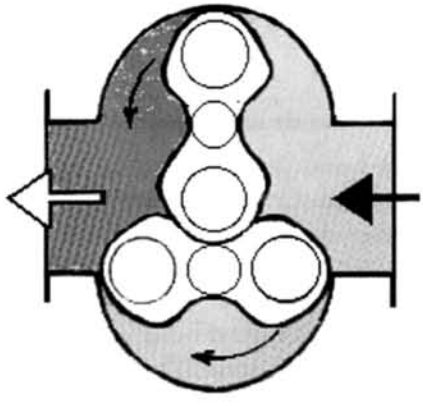


Figure 4.44 – Surpresseur à pistons rotatifs.

Cependant, une faible quantité d'air s'échappe vers l'aspiration du surpresseur. Cette fuite, de débit constant, est appelée « glissement ». C'est un paramètre connu pour chaque surpresseur et variable avec la pression.

4.8.2 Conditions d'implantation

■ Lieu d'implantation

L'endroit doit présenter les caractéristiques suivantes :

- degré d'humidité minimal,
- ambiance propre,
- éviter les atmosphères acides et salines,
- éviter les températures inférieures à – 50 °C,
- bonne aération.

■ Tuyauteries

- Le raccordement des tuyauteries doit s'effectuer de telle façon qu'aucune tension mécanique ne soit transmise au surpresseur. Le surpresseur ne doit pas supporter directement les poids entiers des silencieux, des tuyauteries, des soupapes, etc.
- L'utilisation de manchons souples est conseillée pour raccorder les tuyauteries et certains éléments au surpresseur. Cela permet d'éviter les vibrations et de réduire les bruits.
- Il faut prévoir un robinet de purge à un point bas pour chasser l'eau de condensation dans le filtre et les tuyauteries.

■ Réduction de bruit

- Par sa constitution, le surpresseur à pistons rotatifs produit du bruit, causé par la circulation du fluide. La réduction de ce bruit est obtenue par l'installation d'un silencieux à l'aspiration.
- Le bruit est aussi produit par la machine elle-même. Il faudra installer un silencieux et un manchon souple au refoulement pour éviter la propagation du bruit venant du surpresseur.
- D'autre part, il faut installer le surpresseur sur des supports élastiques pour réduire la diffusion des bruits.

4.8.3 Surveillance quotidienne

■ Contrôle du niveau d'huile de lubrification

Les seuls éléments lubrifiés à l'huile sont les roulements à rouleaux et les engrenages de synchronisation. La machine arrêtée, le niveau correct doit atteindre le milieu des indicateurs de niveau d'huile placés sur le carter avant et le carter arrière. Le niveau maximal ne doit pas être dépassé, car l'excès d'huile augmenterait l'échauffement de la machine.

Il faut veiller à l'absence de fuite d'huile.

Sauf avis contraire du constructeur, l'huile utilisée est de type minérale pure, de la classe ISO Vg 220 et non compoundée. Les produits d'addition anti-mousseux ou antirouille sont facultatifs.

■ Nettoyage du filtre

Le filtre d'aspiration doit être bien entretenu pour un meilleur rendement du surpresseur. La fréquence de nettoyage et du remplacement dépend des conditions ambiantes d'aspiration.

■ Vérification des bruits

Les bruits anormaux peuvent provenir de la chambre de compression ou des roulements. Les actions correctives seront engagées selon les origines.

□ Bruits dans la chambre de compression

- Frottement des pistons entre eux et dans le corps du compresseur pouvant provenir de l'encrassement dû aux poussières ou aux corps étrangers. Nettoyer la chambre de compression et rechercher les fissures éventuelles.
- Déséquilibre des rotors par suite de dépôts d'impuretés. Nettoyer les rotors et contrôler leur concentricité.
- Frottement des têtes de pistons dans le corps par suite d'une trop grande flexion causée par une surcharge. La surcharge entraîne un effet thermique qui déforme le corps par tension. Comparer les valeurs de pression et de température en fonctionnement aux caractéristiques du surpresseur.
- Frottement des pistons sur les plaques latérales. Échauffement trop important des pistons en fonctionnement. Tourner le surpresseur avec la main et vérifier l'existence de points durs en regardant à l'intérieur de la machine à travers les orifices d'aspiration et de refoulement. Contrôler les jeux entre les pistons et les plaques avant et arrière.

□ Bruits de roulements

Les roulements peuvent avoir des jeux importants. Mesurer les jeux des roulements au comparateur et les comparer aux valeurs indiquées dans le catalogue des roulements. Remplacer les roulements dont le jeu est hors de la tolérance admissible.

■ Vérification de l'échauffement

Les causes d'un échauffement trop important sont les suivantes.

□ Surcharge

Chaleur de compression trop élevée par suite d'une pression différentielle trop importante.

□ Encrassement du filtre d'aspiration

Nettoyer le filtre.

□ Mauvaise lubrification

Un excès d'huile et une viscosité trop importante entraînent un travail de frottement supplémentaire, ce qui provoque un échauffement. Respecter alors le niveau de lubrification. Utiliser la qualité d'huile conseillée par le constructeur.

☐ **Température ambiante trop élevée**

Le local de machine doit être bien aéré.

☐ **Jeux entre pistons trop importants**

Les jeux trop importants entre les pistons entraînent une augmentation de chaleur de compression en raison de la baisse de rendement volumétrique. Contrôler les jeux et les comparer aux valeurs préconisées par le constructeur.

■ **Vérification de débit**

Un débit trop faible signale les anomalies suivantes.

☐ **Entrée d'air insuffisant**

Le filtre d'aspiration est encrassé. Nettoyer et contrôler l'état du filtre.

☐ **Usure des rotors**

L'usure des rotors entraîne des jeux trop importants. Mesurer les jeux et remplacer les rotors défectueux.

■ **Vérification de la puissance de consommation**

Une puissance absorbée trop élevée peut être due aux défections suivantes.

☐ **Mauvaise condition de fonctionnement**

S'assurer de la bonne condition de fonctionnement. Comparer les pressions différentielles et les températures aux caractéristiques.

☐ **Excès de lubrification**

Effectuer la correction si le niveau d'huile est trop élevé.

☐ **Points durs**

L'existence de points durs entraînera en même temps des bruits et un échauffement excessif des pistons.

4.8.4 Entretien préventif

■ **Nettoyage interne du surpresseur**

Les incrustations et les adhérents des différents produits sur les surfaces internes entraînent les déséquilibres des rotors.
La procédure de nettoyage interne est la suivante :

- démonter les tuyaux d'aspiration et de refoulement,
- démarrer le surpresseur,
- introduire par la bride d'aspiration le solvant. Utiliser la gazoline, le kérosène ou un autre solvant adéquat aux joints en caoutchouc et joints à lèvre,
- laisser tourner le surpresseur jusqu'à ce que le solvant appliqué soit totalement éliminé.

■ Remplacement du lubrifiant

- Les opérations de remise à niveau ou de vidange s'effectuent toujours à l'arrêt de la machine et sans la pression à l'intérieur.
- À la première mise en service, il faut remplacer l'huile après 150 heures de fonctionnement.
- Après rodage, le remplacement d'huile se fera entre 1 800 et 2 000 heures de marche.
- Il est conseillé de procéder au nettoyage interne des carters après chaque vidange. Pour ce faire, injecter dans les carters une huile détergente à basse viscosité, ensuite faire tourner le surpresseur à vide pendant 5 minutes. Puis arrêter la machine, vidanger l'huile détergente et remplir avec une nouvelle huile préconisée par le constructeur. Dans le cadre d'une standardisation, choisir soigneusement la correspondance de caractéristiques avec l'huile conseillée.

■ **Installation d'air comprimé**

L'air atmosphérique est aspiré à travers un filtre d'air précédé d'un collecteur de poussière (figure 5.2).

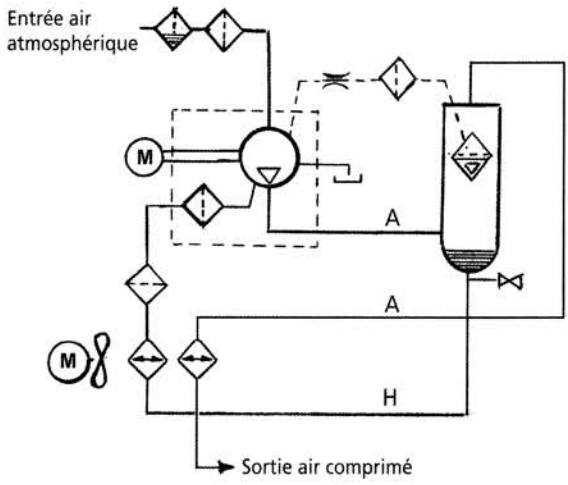


Figure 5.2 – Installation d'air comprimé. A : circuit d'air comprimé. H : circuit d'huile.

Circuit d'air comprimé :

- Compresseur.
- Séparateur d'huile.
- Refroidisseur d'air comprimé.

Circuit d'huile :

- Réservoir séparateur.
- Refroidisseur d'huile.
- Filtre d'huile.
- Tamis (sur compresseur).

Le séparateur est équipé d'une cartouche séparatrice et d'une vanne de vidange. Certains compresseurs sont équipés d'un séparateur centrifuge intégré dont la purge électronique qui élimine 90 % des condensats produits par la compression. L'air ventilé assure le refroidissement du refroidisseur d'air comprimé, du refroidisseur d'huile et du corps du bloc compresseur.

5.1.2 Entretien préventif

■ **À la première mise en service**

- Vérification générale, des fixations, des connexions électriques à 50 heures.
- Remplacement du filtre d'huile après 200 heures.

Tableau 5.1 – Système de sécurité.

Organe	Action
Vacuostat – filtre d'air	Le voyant s'allume lorsque *P* différentielle > 0,05 bar
Relais de surcharge – moteur compresseur	Arrêt du moteur en cas de surcharge
Pressostat	Arrêt du compresseur en cas de mauvais sens de rotation
Téléthermomètre – température de compression	Arrêt du compresseur lorsque la température de compression atteint 110 °C
Sonde thermistor PTC – circuit d'huile	Arrêt du compresseur lorsque la température d'huile après séparateur dépasse 110 °C
Pressostat différentiel – filtre d'huile	Le voyant s'allume lorsque *P* différentielle > 1,25 bar
Pressostat différentiel – cartouche séparateur d'huile	Le voyant s'allume lorsque *P* différentielle > 1,0 bar

■ Vérifications quotidiennes

Vérification des paramètres de surveillance :

- colmatage du filtre d'air,
- colmatage du filtre d'huile,
- colmatage du filtre séparateur,
- température de compression,
- température du réservoir séparateur d'huile,
- pression d'air comprimé,
- température d'air comprimé,
- nombre d'heures de service,
- vérification du niveau d'huile de lubrification,
- vérification de l'absence de fuite d'huile au niveau de joint d'étanchéité du réservoir collecteur,
- vérification de l'absence de bruit anormal,
- vérification du niveau d'huile du flacon de récupération afin de constater l'état de fuite du bloc de compression.

Selon les valeurs de consigne (allumage des voyants), le filtre d'air sera à nettoyer ou à remplacer, le filtre d'huile et le filtre séparateur sont à remplacer.
Le dépoussiérage du filtre d'air s'effectue de la manière suivante :

- tenir la cartouche et la taper plusieurs fois avec la paume de la main,
- souffler avec de l'air comprimé sec de pression inférieure à 5 bar.

■ **Entretien de 1 000 heures de service**

Nettoyage des refroidisseurs d'air et d'huile. Un fort d'encrassement des refroidisseurs peut entraîner un échauffement du circuit de refoulement d'air comprimé et de celui de lubrification.

■ **Entretien de 2 000 heures de service**

Graissage des roulements du moteur compresseur. Cette opération se fait en marche.

■ **Entretien de 3 000 heures de service**

Remplacement du filtre d'huile.

■ **Entretien de 9 000 heures de service**

Vidange d'huile du réservoir séparateur d'huile et du refroidisseur d'huile. Après cette vidange, le remplissage d'huile se fait sur le réservoir séparateur.
On utilisera soit des huiles de type hydraulique, anti-usure et très anti-oxydante, soit des huiles minérales ou synthétiques de la classe DIN 51352 et 51506 VC-I, et VD-I, des huiles moteurs SAE 10 W API CC ou CD.
Pour les compresseurs biétagés soumis à un service sévère, avec des températures de refoulement supérieures à 100 °C, les constructeurs préconisent des huiles synthétiques.

■ **Entretien de 12 000 heures de service**

- Remplacement des roulements du moteur ventilateur. Pour une condition de service difficile, cette opération se fait à 6 000 heures (température ambiante jusqu'à 40 °C).
- Nettoyage des vis du compresseur.

■ **Entretien de 35 000 heures de service**

Remplacement des roulements du moteur compresseur. Pour une condition de service difficile, cette opération se fait à 20 000 heures (température ambiante jusqu'à 40 °C).

■ **Contrôles annuels**

- Contrôle de la soupape de sécurité séparateur d'huile.
- Contrôle de la soupape de sécurité d'aspiration.
- Contrôle des connexions électriques.

5.2 Compresseurs à pistons

5.2.1 Principe

On distingue principalement deux types de compresseurs à pistons :

- les compresseurs de type classique à pistons lubrifiés ;
- les compresseurs à pistons secs qui fournissent un air comprimé totalement exempt d'huile.

Le choix entre ces deux types se fait selon la qualité de l'air comprimé désirée et selon le domaine d'utilisation. Le compresseur à pistons secs est intéressant pour les industries alimentaires, chimiques ou aéronautiques, etc.

Pour remplir les gammes de pressions et de débits, les constructeurs utilisent différentes conceptions :

- mono-étagé ou bi-étagé ;
- à simple effet ou à double effet ;
- monocylindre ou double cylindre.

■ Compression

Les compresseurs à double cylindre sont constitués :

- d'un carter fermé contenant un vilebrequin reposant sur des coussinets. Ce vilebrequin porte deux bielles qui sont en liaison avec deux pistons ;
- de deux cylindres dans lesquels se réalise la compression de l'air. Grâce au mouvement de rotation du vilebrequin, les deux pistons se déplacent en sens inverse l'un de l'autre dans leur cylindre respectif. Chaque cylindre possède un clapet d'aspiration et un clapet de refoulement qui régularisent l'entrée et la sortie d'air.

□ Pistons lubrifiés

Les cylindres et le carter sont en communication. Les pistons sont munis de segments qui assurent l'étanchéité entre les cylindres et leurs pistons. Un ou plusieurs autres segments servent à racler l'huile qui remonte le long des cylindres.

□ Pistons secs

Les cylindres sont isolés du carter par des cloisons munies de garnitures au niveau de la tige des pistons. La liaison entre la bielle et la tige du piston est assurée par l'intermédiaire d'une crosse. Le compresseur est de type horizontal et les pistons se déplacent sur les segments porteurs en Téflon. Les segments d'étanchéité sont également en Téflon (figure 5.3)

■ Refroidissement

On distingue deux types de systèmes de refroidissement :

- Refroidissement à air : la ventilation forcée est assurée par un ventilateur axial.
- Refroidissement à eau : la circulation d'eau fournie par un réfrigérant refroidit le corps des cylindres. La température d'eau à la sortie ne doit pas dépasser 40 °C. L'eau de refroidissement doit être propre et exempte de calcaire, celui-ci entartrant rapidement le réfrigérant et réduisant le rendement de l'appareil.

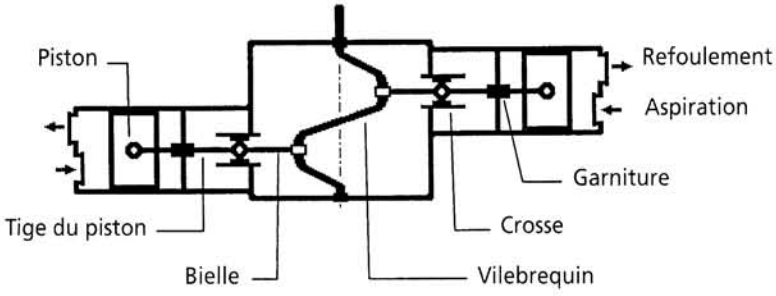


Figure 5.3 – Compresseur à pistons secs.

■ Lubrification

La lubrification du vilebrequin et des bielles est assurée par une pompe fixée à l'intérieur du bâti. Celle-ci aspire l'huile à travers une crépine et la refoule dans les paliers, par l'intermédiaire du filtre. L'huile est ensuite distribuée aux coussinets de tête de bielle puis aux coussinets de pied de bielle.
Cette pompe est commandée par le vilebrequin.

■ Asservissement de fonctionnement

- Asservissement électrique pour un débit de 6 à 80 Nm^3/h : grâce à un contacteur manométrique, le moteur du compresseur se met en route dès que la pression d'utilisation tombe au-dessous d'un certain seuil et s'arrête lorsque celle-ci dépasse une valeur maximale.
- Asservissement mixte pour un débit de 80 à 275 Nm^3/h : en supplément de la régulation électrique, un régulateur de pression empêche le compresseur de débiter sur le réseau lorsque la limite de pression maximale est atteinte. Dans ce cas, le compresseur peut rester constamment en fonctionnement.

■ Système de sécurité

- Une soupape de sûreté réglable limite la pression de lubrification.
- Un dispositif d'alarme surveille l'alimentation en eau de refroidissement et sa température.
- Un thermostat et un manostat surveillent la température et la pression du refoulement d'air comprimé.

5.2.2 Entretien préventif

■ Surveillance quotidienne

- Suivi du nombre d'heures de fonctionnement.
- Vérification de la température et de la pression de refoulement de l'air comprimé.

- Vérification du niveau d'huile du carter.
- Vérification de la pression de lubrification.
- Vérification de la stabilité de l'aiguille du manomètre de pression d'huile. Si l'aiguille n'est pas stable, on peut craindre un manque d'huile dans le carter.
- Vérification de la température de sortie de l'eau de refroidissement.
- Purge des réfrigérants.
- Nettoyage du filtre d'aspiration d'air.
- Vérification de l'absence de bruit anormal. S'il y a un bruit de cognement, déterminer s'il provient du carter ou des cylindres.

□ Cognement dans le carter

- Enlever les trappes de visite et vérifier que les boulons de tête de bielle ne sont pas desserrés.
- Vérifier à l'aide d'un levier que les coussinets de tête de bielle ne présentent pas un jeu exagéré.
- Vérifier le jeu de la bague de pied de bielle et des axes de crosses (pour le compresseur à pistons secs).

□ Cognement dans les cylindres

- Démonter les trappes de visite du cylindre concerné et contrôler le serrage de la tige du piston et du contre-écrou de la crosse.
- Contrôler les espaces morts à l'avant et à l'arrière du piston, avec démontage du clapet.
- Vérifier qu'il n'y a pas de corps étranger au fond du cylindre (grains de soudure, débris du clapet).

■ Entretien de 3 000 heures

- Contrôler l'état et la tension des courroies.
- Contrôler l'état et l'alignement des poulies.
- Contrôler l'état d'usure des segments d'étanchéité et des segments racleurs.

Pour le compresseur de type horizontal équipé des pistons se déplaçant sur des segments porteurs :

- Contrôler l'état d'usure des garnitures des tiges de pistons.
- Contrôler l'état d'usure des segments porteurs des pistons HP et BP. Ce contrôle se fait par la mesure du jeu des pistons sous leur segment porteur. Rotation d'un tiers de tour du segment porteur lorsque le jeu est minimal (0,6 mm). La rotation s'effectue en tournant le piston sur sa tige ou l'ensemble piston-tige par rapport à la crosse. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de rétablir le jeu d'espace mort, côté fond extérieur. Noter les dates de rotation des pistons. Une révision du compresseur sera effectuée à la date correspondant aux trois intervalles de rotation.

■ **Entretien de 10 000 heures**

- Révision du compresseur :
  - remplacement des joints d'étanchéité du bâti, des cylindres, des réfrigérants,
  - remplacement des segments d'étanchéité et des racleurs de pistons,
  - remplacement des segments porteurs des pistons HP et BP,
  - contrôle des alésages (selon les valeurs de jeux données par le constructeur),
  - contrôle de l'état de l'embiellage.
- Remplacement de l'huile de lubrification.
- Remplacement du filtre d'huile.
- Nettoyage du carter, des cylindres et des clapets.
- Nettoyage des réfrigérants et du séparateur d'huile.

■ **Entretien réglementaire**

Tous les 10 ans, épreuve par le service des Mines du ballon d'air comprimé de pression supérieure à 4 bar.

5.2.3 Précautions particulières

- Lorsqu'il n'y a pas de système de sécurité sur l'eau de refroidissement, il est prudent de couper le circuit d'eau 2 à 3 minutes avant l'arrêt en laissant le compresseur tourner à vide, ce qui permet d'évacuer les condensations.
- Lorsque deux ou plusieurs compresseurs fonctionnent sur le même réseau, si l'un des compresseurs tourne rarement (compresseur de secours), il faut le mettre en route pendant 15 minutes toutes les semaines afin d'éviter les dépôts de condensation qui pouvaient provoquer l'oxydation et la détérioration.
- Pour le compresseur à pistons secs et en cas d'arrêt prolongé de plus de 15 jours, il est conseillé de pulvériser à l'intérieur des cylindres de l'huile spéciale pour les protéger de l'oxydation. Après cette pulvérisation, faire fonctionner le compresseur quelques minutes. Cette précaution est particulièrement valable pour les industries saisonnières, ou pendant les périodes de grand arrêt.

5.3 Traitement de l'air comprimé

5.3.1 Principe

■ **Présence d'eau dans l'air**

L'air comprimé provenant du compresseur contient une importante quantité d'eau sous forme de vapeur. Si cette eau allait dans le réseau de distribution, cela risquerait de causer de graves dommages pour des machines.

L'air est naturellement chargé de vapeur d'eau. À une température de 25 °C, avec un taux hygrométrique moyen de 70 %, à la pression atmosphérique, 1 m^3 d'air ambiant contient 16 g de vapeur d'eau en suspension. La quantité d'eau s'accroît avec la température. C'est cet air qui est aspiré par le compresseur pour produire de l'air comprimé.
Dans ces conditions, un compresseur de 50 CV, utilisé à 80 % pendant 10 heures de travail par jour pour une pression de service de 7 à 8 bar, aspire 48 litres d'eau et les refoule dans le réseau d'air.
Et on retrouvera cette eau dans les appareils pneumatiques, les régulateurs de vérins, les organes d'asservissement et de contrôle. Produisant des brouillards lors de la détente dans les appareils de commande et les pistolets de pulvérisation, elle provoque la pollution, la corrosion et l'oxydation de tous les organes pneumatiques où elle stagne.

■ Traitement de l'air

L'air atmosphérique contient non seulement de l'eau mais aussi des poussières. Le compresseur introduit au final de l'huile dans l'air comprimé qui doit donc être traité avant son usage. Il faut :

- le sécher pour éviter la formation de condensats dans le réseau d'utilisation ;
- le déshuiler et le dépoussiérer.

5.3.2 Procédé de déshydratation de l'air comprimé

Il existe trois procédés pour éliminer l'eau de l'air comprimé :

- condenser la vapeur d'eau par le procédé frigorifique ;
- adsorber chimiquement la vapeur d'eau sur des déshydratants régénérables ;
- absorber chimiquement la vapeur d'eau sur des sels déliquescents.

■ Déshydratation par réfrigération

Le procédé consiste à refroidir l'air comprimé jusqu'à une température minimale que l'on peut obtenir sans risque de givrage. Ce refroidissement, qui se fait successivement dans un échangeur air/air et un échangeur air/fréon ou air/eau glycolée, provoque la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air.

■ Déshydratation par adsorption

On fait passer de l'air comprimé sur des adsorbants physiques tels que l'alumine, le gel de silice, les tamis moléculaires, etc. Ces adsorbants sont régénérables soit par chauffage, soit par balayage à contre-courant en air sec détendu. Ces produits ont une très longue durée de vie s'ils sont protégés contre la pollution.

■ **Déshydratation par absorption**

La méthode consiste à faire passer l'air comprimé sur des sels déliquescents qui absorbent la vapeur d'eau par fusion. Le sel déliquescent est un produit consommable qui doit être renouvelé périodiquement.

5.3.3 Choix des types de sécheurs

Parmi les critères tels que le débit, la température, la pression de l'air comprimé et la température ambiante, le point de rosée paraît important pour le choix technologique. C'est la température à laquelle la vapeur d'eau de l'air commence à se condenser (norme Afnor 150/TC 118/SC 4).
Plus le point de rosée est bas, plus les coûts d'investissement et d'exploitation sont élevés. Il est inutile d'avoir un point de rosée inférieur à ce qui est nécessaire.

■ **Sécheur à réfrigération**

Ce type de sécheur peut garantir un point de rosée + 3 °C pour une pression de 7 bar et – 22 °C à la pression atmosphérique.
Ceci est suffisant dans un grand nombre de cas lorsque l'air comprimé circule dans les locaux à l'abri du gel.

■ **Sécheur à adsorption**

Le point de rosée normalement obtenu est de – 20 °C sous une pression de 7 bar effective, et de – 40 °C à la pression atmosphérique. Il pourra atteindre – 80 °C selon la performance de l'installation.
Ce type de sécheur est particulièrement désigné pour les installations extérieures qui sont protégées contre les condensations et le gel.

■ **Sécheur à absorption**

Il convient dans le cas de débit faible et intermittent et lorsque le réseau d'air comprimé se trouve à des températures voisines de l'ambiance.

5.3.4 Installations de traitement d'air

Dans de nombreux cas, l'air comprimé a besoin, en plus de la déshydratation, du déshuilage et de la filtration (voir tableaux 5.2 et 5.3 et figure 5.4).
Pour un traitement d'air avec un sécheur par absorption, l'installation, sans besoin d'énergie, est composée d'une cuve métallique contenant du sel déliquescent. L'air comprimé humide entre par le bas de la cuve, traverse la couche de déshydrateur et sort par le haut.

Tableau 5.2– Traitement d'air avec un sécheur à adsorption.

1	Compresseur	Production d'air comprimé
2	Réfrigérant condenseur avec purgeur automatique	Refroidissement d'air et élimination de la plus grosse partie des entraînements vésiculaires
3	Ballon tampon avec purgeur automatique	Élimination des pulsations du compresseur, néfastes au déshydratant du sécheur
4	Dévésiculeur (cas d'un compresseur sec) ou déshuileur (cas d'un compresseur lubrifié)	Élimination de tout entraînement vésiculaire eau ou huile ainsi que des aérosols
5	Sécheur à adsorption	Déshydratation de l'air
6	Filtre à poussières	Piégeage des poussières
7	Ballon tampon	Compensation des rafales (indispensable dans le cas de marche en rafale)

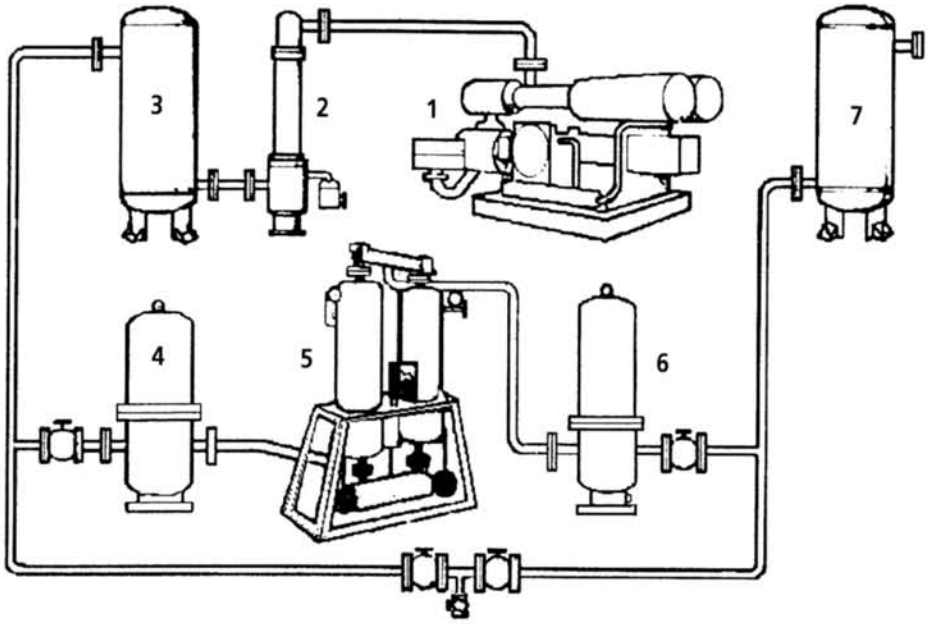


Figure 5.4 – Réseau d'air comprimé avec sécheur à adsorption (voir tableau 5.2).

Tableau 5.3 – Traitement d'air avec un sécheur par réfrigération.

1	Compresseur	Production d'air comprimé
2	Réfrigérant condenseur avec purgeur automatique	Refroidissement d'air et élimination de la plus grosse partie des entraînements vésiculaires
3	Ballon tampon avec purgeur automatique	Élimination des pulsations du compresseur, néfaste au déshydratant du sécheur
4	Sécheur par réfrigération avec dévésiculeur incorporé	Déshydratation de l'air
5	Filtre à poussières ou déshuileur	Arrêt de poussières ou séparation d'huile
6	Ballon tampon	Compensation des rafales (indispensable dans le cas de marche en rafale)

5.4 Sécheur par adsorption

5.4.1 Principe

Ce système de sécheur est basé sur la capacité d'adsorption de vapeur d'eau sur la surface d'un dessiccant sec. Il est constitué de deux colonnes de séchage dont l'une assure l'adsorption pendant que l'autre est en génération.

■ Séchage

L'air humide entre par la partie inférieure de la colonne sécheur et l'air sec sort par la partie supérieure. Le sens de passage est du bas vers le haut, ce qui apporte les avantages suivants :

- les condensats d'eau ne sont pas entraînés dans le dessiccant et restent au fond des cuves, ils sont chassés avec le débit de purge ;
- à chaque changement de phase, il n'est pas nécessaire de dépressuriser. Le débit de purge ne perturbe pas la position du dessiccant, évitant ainsi la formation de poussière par érosion.

■ Génération à froid

Elle se fait par une purge d'air sec détendu à contre-courant évacué à l'extérieur (figure 5.5).
Débit de purge :

- 4 bar : 25 % du débit traité,
- 10 bar : 12 % du débit traité,
- 7 bar : 15 % du débit traité,
- 200 bar : 3 à 4 % du débit traité.

Il n'y a pas d'apport calorifique, le système utilise les calories fixées sur le dessiccant lors de l'adsorption. Le cycle exigé par ce procédé est très court, environ 12 minutes, soit 6 minutes en adsorption et 6 minutes en génération.

5 • PNEUMATIQUE

5.1 Compresseurs à vis lubrifié

5.1.1 Principe de fonctionnement

■ Compression

Le compresseur à vis lubrifié est équipé d'un bloc compresseur monoétagé à refroidissement par huile. À l'intérieur du carter se trouvent deux rotors sur paliers à roulement, le rotor secondaire et le rotor principal, entraîné lui-même par le moteur. Lors de la rotation, l'air est aspiré côté supérieur et comprimé côté inférieur. L'air comprimé quitte le bloc compresseur par la tubulaire de refoulement.

L'huile injectée côté inférieur dans le carter absorbe la chaleur de compression produite pendant le refoulement, empêche le contact métallique des rotors et sert en même temps au graissage des paliers à roulement (figure 5.1).

En effet, l'huile assure trois rôles essentiels : la lubrification, le refroidissement et fait office de joint entre les deux rotors.

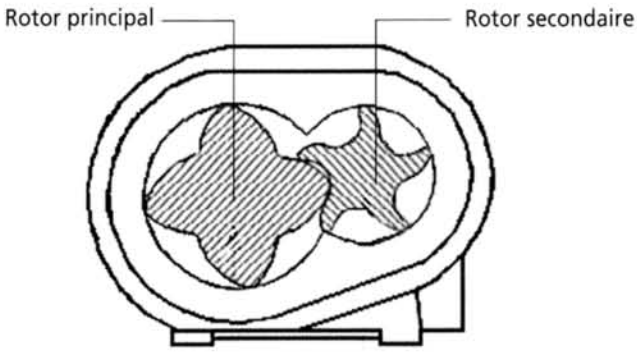


Figure 5.1 – Compresseur à vis.

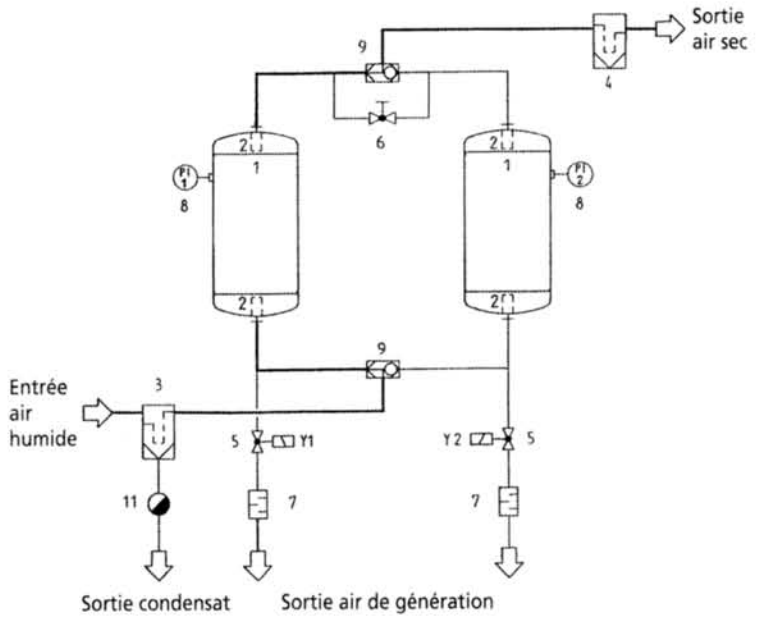


Figure 5.5 – Sécheur à adsorption. Génération à froid.
1. Cuves sécheurs. 2. Distributeurs de flux. 3. Filtre amont. 4. Filtre aval. 5. Vannes. 6. Orifice calibré. 7. Silencieux. 8. Manomètres. 9. Clapets. 11. Purge.

■ Génération thermique interne

Elle se fait par désorption par chauffage du déshydratant au moyen de résistances noyées. Pendant la phase de chauffe, l'humidité est évacuée à l'extérieur par une purge d'air sec détendu à contre-courant. Le refroidissement est effectué après coupure des résistances (figure 5.6).

- Débit de purge : 3 à 4 % du débit traité.
- Apport calorifique : de 0,5 à 18 kW par cuve pendant 1 h 45 à chaque demi-cycle.

■ Génération par chaleur externe

La colonne en génération est dépressurisée. La réactivation est obtenue par une arrivée d'air chaud. L'air atmosphérique est chauffé à haute température (130 à 180 °C) et injecté sur le produit adsorbant grâce à un ventilateur. La période de chauffage dure 4 heures (figure 5.7).

■ Déshydratant

Un lit de silicat est protégé par un lit d'alumine activée dont la proportion est de 85 % de SiO_2 et de 15 % de Al_2O_3. L'alumine présente l'avantage de ne pas éclater au contact de l'eau et de ne pas produire de poussière. Il permet d'obtenir un point de rosée très bas.

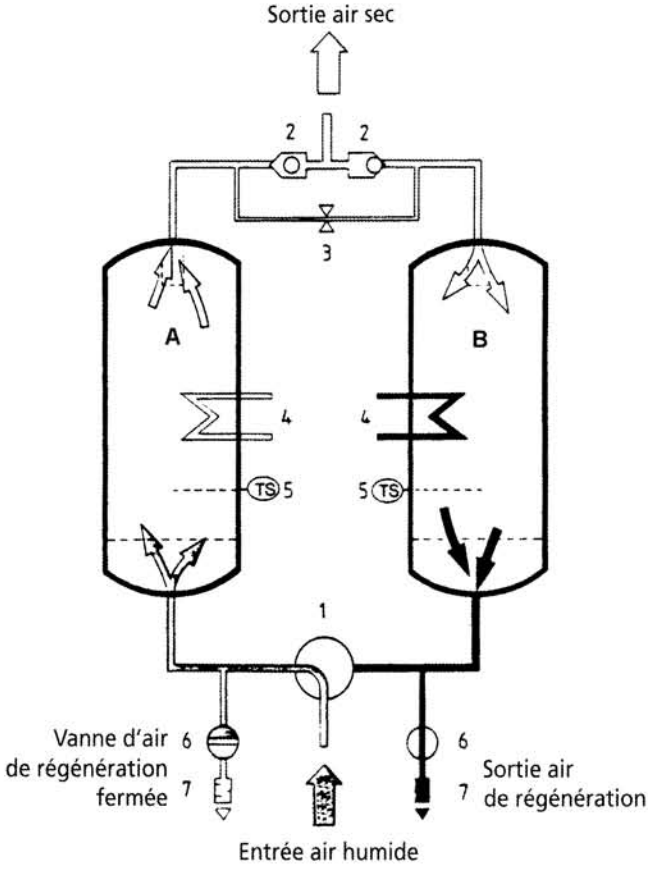


Figure 5.6 – Sécheur à adsorption à génération thermique interne.
A. Cuve en séchage. B. Cuve en régénération. 1. Vanne d'entrée. 2. Clapets. 3. Orifice calibré (diaphragme). 4. Résistance interne de chauffage. 5. Thermostat. 6. Vanne. 7. Silencieux.

5.4.2 Asservissement

■ Sécurité basse pression

Lorsque la pression est trop basse, le dessiccant subit un volume d'air à sécher plus important et le débit de balayage pour la génération devient insuffisant. Une alarme et un signal visuel doivent informer l'utilisateur de la baisse de pression sur le réseau.

La pression minimale est réglée en usine et peut être ajustée manuellement.

■ Contrôle du point de rosée

Un indicateur de point de rosée peut être placé à la sortie du sécheur. En phase de pressurisation, le signal du point de rosée donne, en fonction du point d'alarme sélectionné, l'arrêt du cycle de régénération. Le cycle se remettra en marche lorsque le point d'alarme sera atteint.

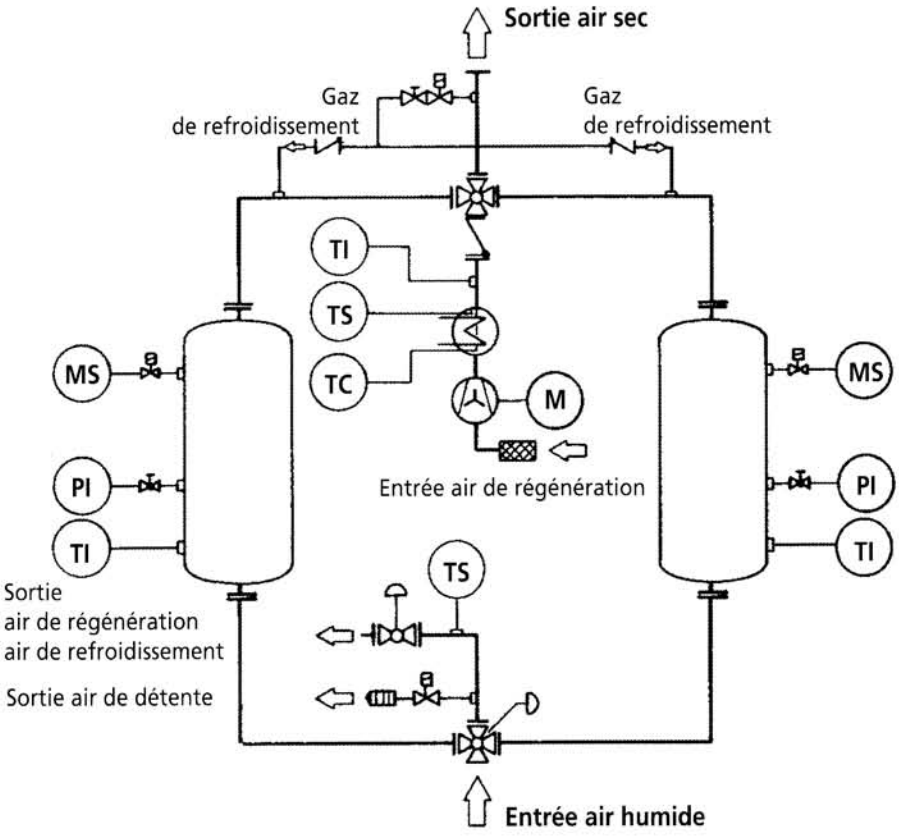


Figure 5.7 – Sécheur à adsorption avec apport de chaleur.

5.4.3 Surveillance quotidienne

■ **Contrôle de bon fonctionnement**

- Les cycles de fonctionnement sont différents selon les types du sécheur. À titre indicatif, le déroulement normal du cycle est caractérisé par le chuintement produit par l'air de balayage à la purge (pendant 4 h 15 pour un sécheur par adsorption avec apport calorifique interne).
- La fermeture des vannes se reconnaît par un claquement sourd.
- Il n'y a pas de bruit pendant la pressurisation (pendant un quart d'heure).
- La durée de chauffe des résistances dans la cuve est signalée par des voyants lumineux sur le coffret électrique.
- Des manomètres montés sur les cuves indiquent les phases de séchage.

■ **Vérification des paramètres**

- Le manomètre différentiel monté entre l'entrée et la sortie du sécheur permet de mesurer en permanence l'évolution de la perte de charge.

– L'indicateur électronique du point de rosée permet d'obtenir un signal d'alarme réglable en fonction de la protection souhaitée.

5.4.4 Entretien du sécheur

■ **Nettoyage**

– Le filtre en ligne est à nettoyer mensuellement.
– Le nettoyage des robinetteries et des silencieux se fait tous les 4 mois.

■ **Remplacement du dessiccant**

La durée de vie du dessiccant est de 1 an pour un sécheur ne possédant pas de filtre en amont. Elle sera de 2 à 3 ans pour un sécheur possédant un filtre en amont.
Pour le remplacement :

– démonter les tubulaires d'entrée et de sortie,
– enlever les filtres et nettoyer,
– vider les cuves,
– remettre les filtres au fond des cuves,
– remplir avec du dessiccant neuf,
– remonter les filtres supérieurs et les tubulaires.

5.5 Sécheur par réfrigération

5.5.1 Principe de fonctionnement

Cette méthode de séchage comprend trois étapes :

– refroidir l'air à 3 °C,
– séparer l'eau et l'air,
– purger l'eau contenue dans le circuit.

Un groupe frigorifique classique maintient un point de rosée au-dessus de 0 °C (pour éviter le givrage et le blocage de l'appareil).

■ **Sécheur frigorifique à détente directe**

Il fonctionne comme un réfrigérateur : le compresseur frigorifique refroidit l'eau contenue dans un bac isolant dans lequel est noyé un serpentin où passe l'air à sécher. La régulation est effectuée par un thermostat qui commande la mise en route ou l'arrêt du refroidissement en fonction des besoins (figure 5.8).
L'échangeur à détente directe permet un transfert direct des frigories entre le réfrigérant et l'air comprimé.

■ **Sécheur frigorifique à double échangeur**

Afin de réduire la consommation électrique, les fabricants ont ajouté un échangeur air/air à l'échangeur air/réfrigérant (figure 5.9).

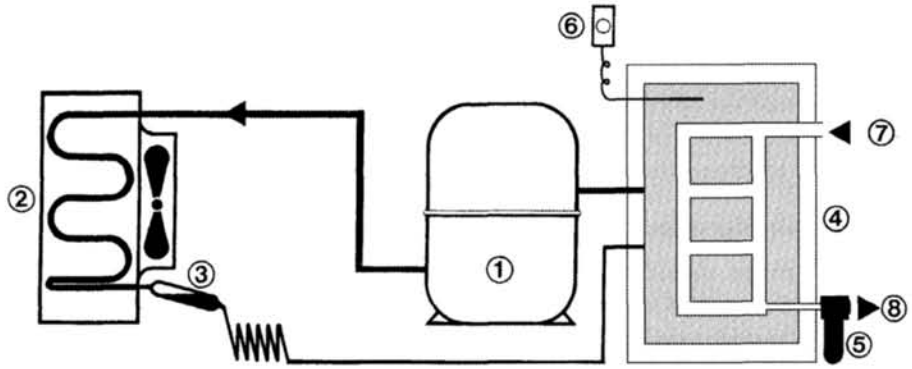


Figure 5.8 – Sécheur frigorifique à détente directe.
1. Compresseur frigorifique. 2. Condensateur réfrigérant. 3. Filtre réfrigérant. 4. Évaporateur (échangeur air/réfrigérant). 5. Séparateur de condensats. 6. Thermostat. 7. Entrée air comprimé humide. 8. Sortie air comprimé sec.

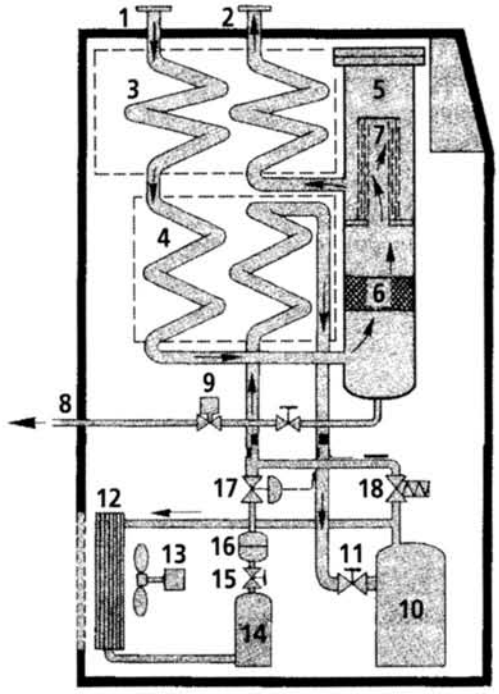


Figure 5.9 – Sécheur frigorifique à double échangeur.
Circuit air comprimé : 1. Entrée air comprimé humide. 2. Sortie air comprimé sec. 3. Échangeur air/air. 4. Échangeur air/réfrigérant. 5. Séparateur. 6. Dévisculeur. 7. Cartouche de filtre. 8. Sortie condensats. 9. Vanne de purge.
Circuit frigorifique : 10. Compresseur frigorifique hermétique. 11. Vanne d'aspiration. 12. Condenseur à air. 13. Ventilateur. 14. Bouteille de liquide. 15. Vanne d'isolement. 16. Déshydrateur. 17. Détendeur thermostatique. 18. Vanne de by-pass.

Dans le premier échangeur thermique air/air, l'air à traiter circule dans le sens contraire à l'air sec froid sortant. Cet échangeur est appelé également échangeur économiseur.
L'air est ensuite refroidi jusqu'au point de rosée prédéterminé dans un échangeur air/réfrigérant qui constitue l'évaporateur d'un groupe frigorifique à détente de fréon en circuit fermé.

■ Sécheur frigorifique à eau glycolée

Ce groupe de déshydratation provoque la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air par refroidissements successifs dans un échangeur air/air et un échangeur air/eau glycolée (figure 5.10).

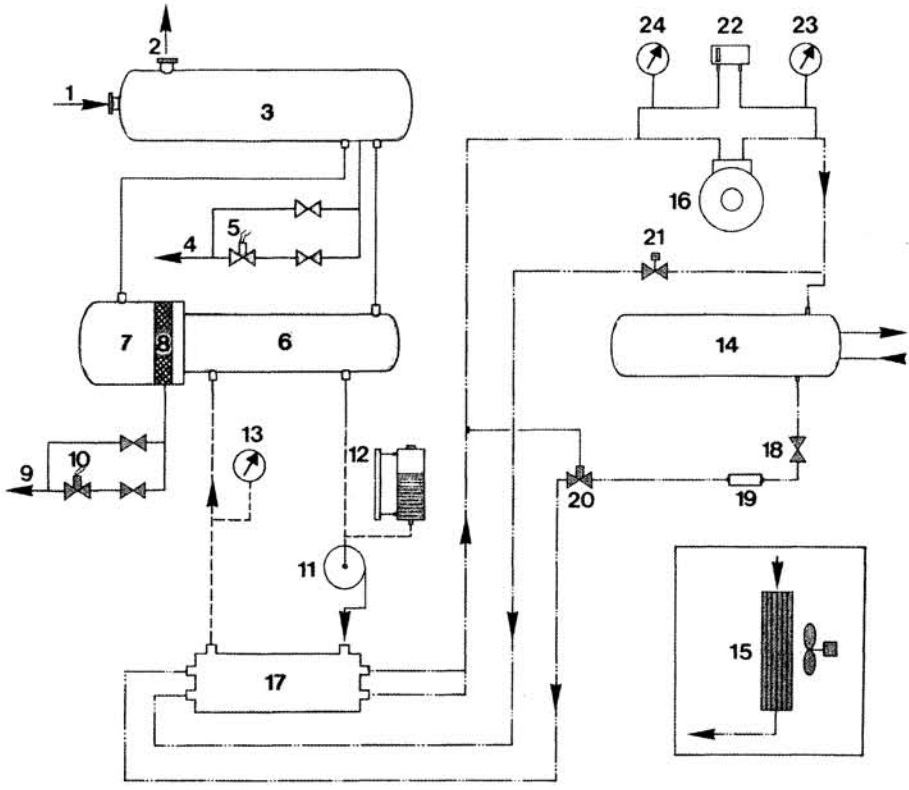


Figure 5.10 – Sécheur frigorifique à eau glycolée.
Circuit air comprimé : 1. Entrée air comprimé humide. 2. Sortie air comprimé sec. 3. Échangeur air/air. 4. Sortie condensats. 5. Électrovanne de purge. 6. Échangeur air/eau glycolée. 7. Séparateur. 8. Treillage métallique. 9. Sortie condensats. 10. Électrovanne de purge.
Circuit eau glycolée : 11. Pompe de circulation. 12. Vase d'expansion. 13. Indicateur de température.
Circuit frigorifique : 14. Condenseur à refroidissement par eau. 15. Condenseur à refroidissement par air. 16. Compresseur frigorifique hermétique. 17. Évaporateur. 18. Vanne d'isolement. 19. Déshydrateur. 20. Détendeur thermostatique. 21. Électrovanne de by-pass. 22. Pressostat haute/basse pression. 23. Manomètre haute pression. 24. Manomètre basse pression.

5.5.2 Précautions d'utilisation

- Les sécheurs à réfrigération ne sont efficaces qu'en régime continu établi. Il convient de les mettre en marche avant de démarrer le compresseur.
- À l'arrêt, il faut fermer les vannes d'isolement pour éviter à l'eau condensée de se ré-évaporer dans les canalisations.

5.5.3 Maintenance préventive

■ **Sécheur à détente directe**

□ **Surveillance quotidienne**

- Vérification de l'absence de fuites diverses.
- Vérification de la propreté de la grille du condenseur.
- Graissage du moteur du ventilateur.

□ **Entretien 3 000 heures**

Contrôle de charge du réfrigérant du compresseur.

□ **Entretien 6 000 heures**

- Nettoyage du séparateur de condensats.
- Nettoyage de l'échangeur à détente directe.

■ **Sécheur à doubles échangeurs**

□ **Surveillance quotidienne**

- Vérification de l'absence de fuites diverses.
- Vérification de la propreté de la grille du condenseur.
- Graissage du moteur du ventilateur.

□ **Entretien 3 000 heures**

- Contrôle de charge du réfrigérant du compresseur.
- Contrôle de bon fonctionnement des électrovannes.

□ **Entretien 6 000 heures**

- Nettoyage du séparateur de condensats.
- Remplacement du cartouche filtre du séparateur.
- Nettoyage de l'échangeur à détente directe.
- Nettoyage de l'échangeur air/air.

■ **Sécheur à eau glycolée**

□ **Surveillance quotidienne**

- Vérification de l'absence de fuites diverses.
- Vérification de la propreté de la grille du condenseur (cas du condenseur à air).
- Contrôle de niveau d'eau glycolée.

- Graissage du moteur ventilateur.
- Graissage du moteur pompe de circulation eau glycolée.
- Vérification des indicateurs de colmatage.

☐ **Entretien 3 000 heures**

- Contrôle de charge du réfrigérant du compresseur.
- Contrôle de bon fonctionnement des électrovannes de purge.

☐ **Entretien 6 000 heures**

- Nettoyage du séparateur de condensats.
- Remplacement du cartouche filtre du séparateur.
- Remplacement du cartouche du déshydrateur.
- Nettoyage de l'échangeur à détente directe.
- Nettoyage de l'échangeur air/eau glycolée.
- Nettoyage du condenseur à eau.

5.6 Sécheur par absorption

5.6.1 Principes

■ Fonctionnement

Basée sur le principe de l'absorption de l'humidité par un dessiccateur, cette méthode est la plus simple et la moins chère. C'est un sécheur à déliquescence qui utilise les tablettes Dry-O-Lite. En dehors des performances liées aux caractéristiques de la Dry-O-Lite, la conception du sécheur permet de séparer mécaniquement, par un effet de turbulence, l'eau contenue dans l'air comprimé. Cette turbulence, créée dans la partie inférieure de l'appareil, tend également à présécher l'air.
L'air purifié mécaniquement est séché enfin par le dessiccateur. Celui-ci se dissout petit à petit pour former un condensat qui se dépose au fond de l'appareil (figure 5.11).

■ Dessiccateur Dry-O-Lite

La Dry-O-Lite n'ajoute rien à l'air comprimé. Elle enlève seulement les éléments indésirables tels que l'eau et la saleté. Elle réduit aussi l'acidité de l'air comprimé humide jusqu'à le rendre neutre ou presque neutre.
Les condensats provenant du sécheur utilisant ce dessiccateur ne sont pas incompatibles avec la vie végétale et aquatique.
Les tablettes de Dry-O-Lite peuvent être manipulées en toute sécurité sans prendre ni précaution ni équipement spécial. Elles sont non toxiques et ininflammables.
Le tableau 5.4 est établi sur la base d'une utilisation de 8 heures par jour, 5 jours par semaine et 50 semaines par an (soit 2 000 h/an).

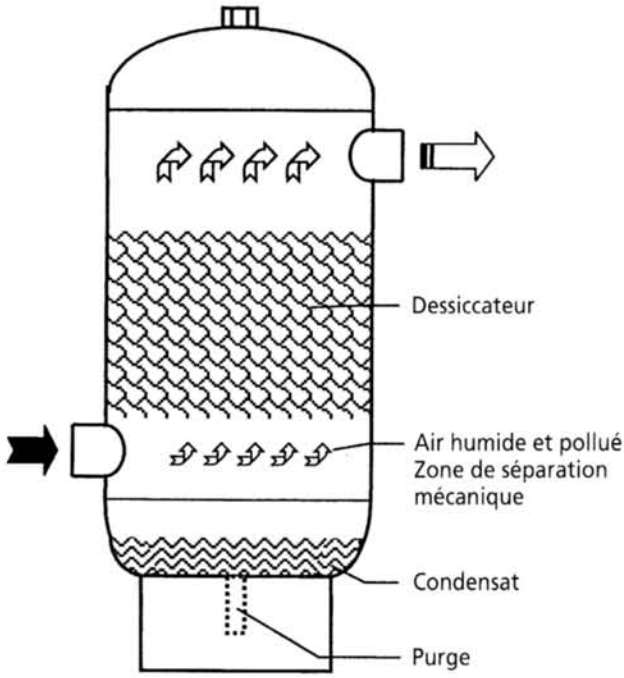


Figure 5.11 – Sécheur par absorption.

Tableau 5.4 – Consommation annuelle de Dry-O-Lite (en kg).

Débit (Nm^3/h)	Température (°C)						
	4	10	16	21	27	32	38
17	1	2	2	3	4	5	7
85	5	7	10	14	19	25	34
170	10	14	20	27	38	50	68
340	20	28	39	54	77	100	136
510	29	42	59	82	113	154	204
680	39	54	77	109	150	204	272
850	50	68	100	135	185	255	340

■ Caractéristiques

- Un abaissement du point de rosée de 20 °C en sortie du sécheur par rapport à l'entrée, quelle que soit la température d'entrée.
- Pas de nécessité de filtre ou de déshuileur en amont ni de filtre en sortie.

- Les condensats ne sont pas polluants et peuvent être déversés à l'égout.
- Perte de charge pratiquement nulle : inférieure à 1 % de la pression d'utilisation.
- La Dry-O-Lite étant légèrement alcaline, elle neutralise l'acidité de l'air. De ce fait, elle supprime son agressivité à l'égard des élastomères (joints, membranes, etc.).
- Pas d'encrassement ni de colmatage.
- Grand fiabilité du fait que l'appareil est statique.

■ **Exemple d'installation**

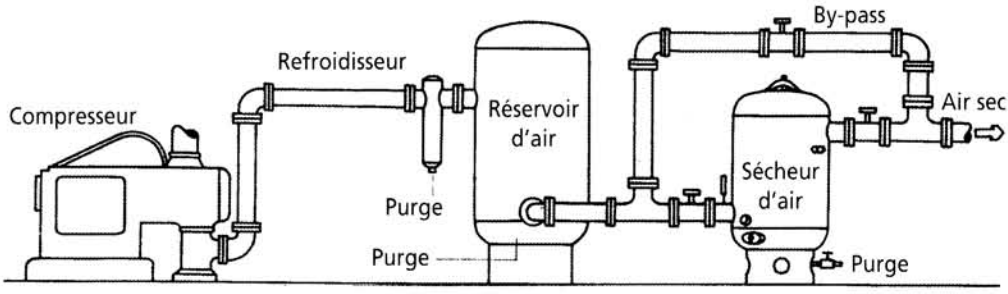


Figure 5.12 – Installation d'air comprimé.

5.6.2 Maintenance préventive

■ **Surveillance quotidienne**

La maintenance est minimale et se résume à la surveillance quotidienne :

- purge des condensats : opération à réaliser au moins une fois par jour. La purge s'effectue sous pression en manœuvrant la vanne de purge. Elle dure de 6 à 60 secondes selon les modèles ;
- contrôle de charge en dessiccateur : la consommation de produit est modeste et fonction de l'utilisation. Elle correspond en moyenne à un rechargement complet tous les 6 à 8 mois.

■ **Contrôle de purgeur automatique**

Afin d'alléger les surveillances, la purge peut être assurée automatiquement soit par un purgeur motorisé à commande électrique, soit par un coffret d'assistance entièrement pneumatique. Dans les deux cas, la purge est effectuée par une vanne à boisseau sphérique inox, soit commandée par moteur électrique, soit actionnée par un vérin pneumatique sur un ordre donné par un commutateur électrique, soit par un calculateur pneumatique associé à une capacité.

Le contrôle de bon fonctionnement est à faire régulièrement. Ces appareils offrent en général deux paramètres de réglage :

- cycle d'ouverture : 1 minute à 10 heures ;
- temps d'ouverture : 6 à 60 secondes.

L'emploi du purgeur automatique à flotteur ou à membrane est déconseillé.

■ Rechargement en dessiccateur

□ Installation sans by-pass

- Arrêter le compresseur.
- Fermer les vannes amont et aval.
- Ouvrir le robinet de purge, ce qui élimine les condensats, et dépressuriser le sécheur.
- Ouvrir l'orifice de remplissage et ajouter du dessiccant jusqu'au niveau indiqué. Égaliser le niveau.
- Réenclencher le compresseur. Ouvrir la vanne amont légèrement et, le robinet de purge restant ouvert, purger le sécheur par l'orifice de remplissage pendant 3 à 5 minutes.
- Arrêter le compresseur. Fermer la vanne de purge et la vanne amont. Fermer l'orifice de remplissage.
- Réenclencher le compresseur.
- Ouvrir la vanne amont afin de mettre le sécheur sous pression.
- Quand le manomètre du sécheur indique la pression normale de fonctionnement, ouvrir lentement la vanne aval afin d'éviter une chute de pression trop rapide à l'intérieur du sécheur.

□ Installation avec by-pass

- Ouvrir le by-pass de la tuyauterie principale.
- Fermer les vannes amont et aval.
- Ouvrir le robinet de purge du sécheur pour éliminer les condensats et dépressuriser le sécheur.
- Ouvrir l'orifice de remplissage et ajouter du dessiccant jusqu'au niveau indiqué. Égaliser le niveau.
- Ouvrir la vanne amont partiellement et, robinet de purge ouvert, purger le sécheur pendant 3 à 5 minutes par l'orifice de remplissage.
- Fermer le robinet de purge et la vanne amont ; fermer l'orifice de remplissage.
- Ouvrir la vanne aval pour effectuer la mise sous pression du sécheur.
- Quand le manomètre du sécheur indique la pression de service, ouvrir la vanne amont lentement jusqu'à la position complètement ouverte.
- Fermer la vanne de by-pass de la tuyauterie principale.

5.7 Conditionnement d'air comprimé

5.7.1 Principe de fonctionnement

L'efficacité d'une installation pneumatique dépend de la qualité de l'air comprimé.
Cet air doit être propre, sans eaux et sans impuretés. L'humidité et les poussières (par exemple, vapeur d'huile) provoquent la rouille des composants et réduisent ainsi leur durée de vie.
La pression doit être constante et régulière pour une utilisation efficace des appareils pneumatiques. Un fonctionnement à niveau de pression trop élevé engendre un gaspillage d'air comprimé.
Cet air sert à la bonne lubrification des pièces en mouvement. De l'huile est mélangée à l'air. L'huile est parfaitement dosée pour être mélangée à l'air comprimé et envoyée dans le réseau d'utilisation.
En effet, le conditionnement de l'air comprimé est composé de trois fonctions :

- filtration : le filtre élimine l'eau et les particules solides ;
- régulation : le régulateur permet de maintenir une pression constante et bien définie ;
- lubrification : le lubrificateur introduit la quantité d'huile nécessaire.

Pour assurer ces trois fonctions, un ensemble filtre + régulateur + lubrificateur est installé dans le réseau de distribution pneumatique.

■ Filtre pneumatique

Un mouvement tourbillonnaire est créé par le passage de l'air au travers des ailettes directionnelles. La force centrifuge projette les particules liquides contre la paroi interne de la cuve, qui couleront vers le fond. Pour sortir, l'air passe au travers de l'élément filtrant qui retient les particules solides. Le déflecteur maintient une zone calme dans la partie basse de la cuve afin d'empêcher que le liquide ne soit emporté par la turbulence dans le circuit (figure 5.13).
Lorsque le liquide atteint un certain niveau, le flotteur se soulève et le purgeur évacue le liquide à l'extérieur de la cuve.

■ Régulateur de pression

La force de compression du ressort de régulation est transmise par l'intermédiaire de la membrane au clapet qui s'ouvre. La face inférieure de la membrane est en communication avec la sortie du régulateur par le tube siphon. Dès que la pression s'élève, la force appliquée à la membrane augmente et comprime le ressort jusqu'à ce que l'équilibre de force soit obtenu. Un excès de pression de sortie est mis automatiquement à l'atmosphère au moyen de la soupape de décharge (figure 5.14).
Le réglage de la pression de sortie du régulateur ou du réseau se fait en tournant le bouton supérieur pour faire varier la compression du ressort de régulation. Le régulateur est en général équipé d'un manomètre.

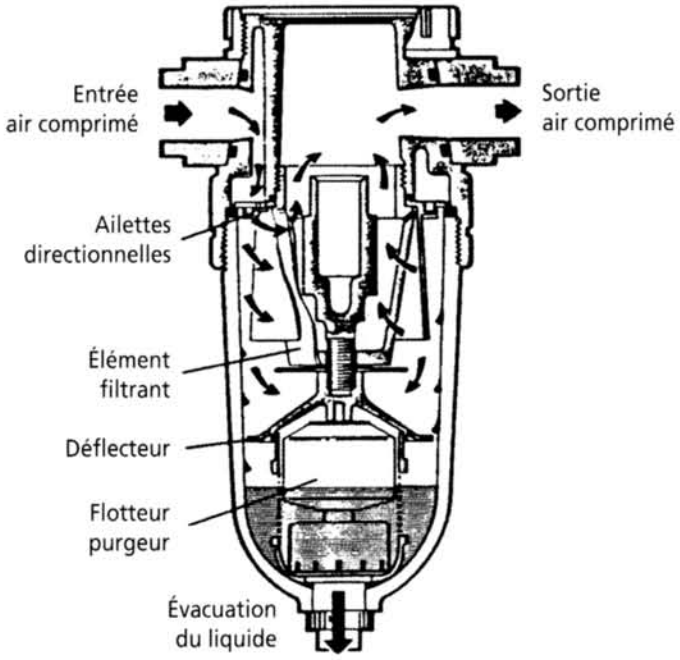


Figure 5.13 – Filtre pneumatique avec purgeur. (Schéma © Norgren Martonair.)

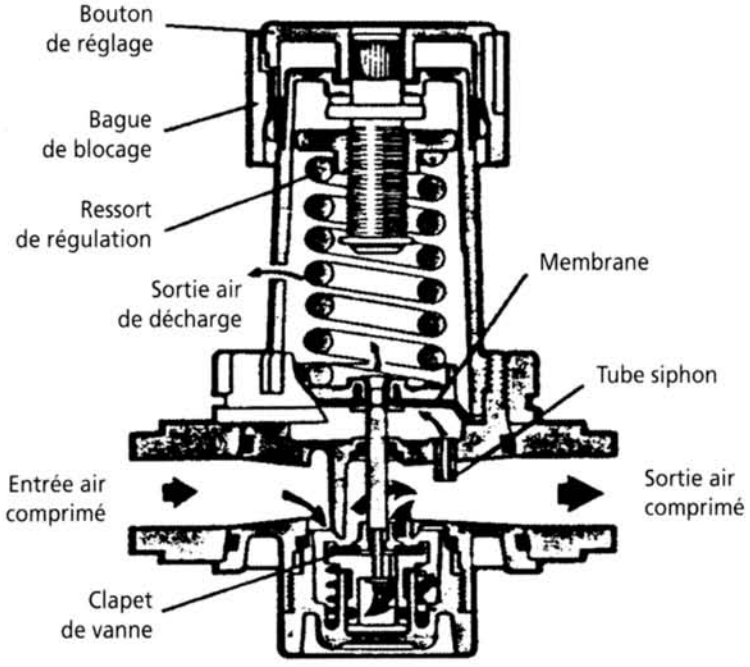


Figure 5.14 – Régulateur de pression. (Schéma © Norgren Martonair.)

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ Lubrificateur à brouillard d'huile

L'air comprimé traverse le lubrificateur en passant par une valve à section variable et un venturi. Une partie de l'air passe au travers d'une valve antiretour et met en pression la cuve d'huile. La différence de pression créée entre la cuve et le voyant de débit provoque une circulation d'huile dans le tube siphon vers la tête de réglage. En retombant dans le venturi, les gouttes d'huile sont pulvérisées en brouillard dans l'air de sortie (figure 5.15).

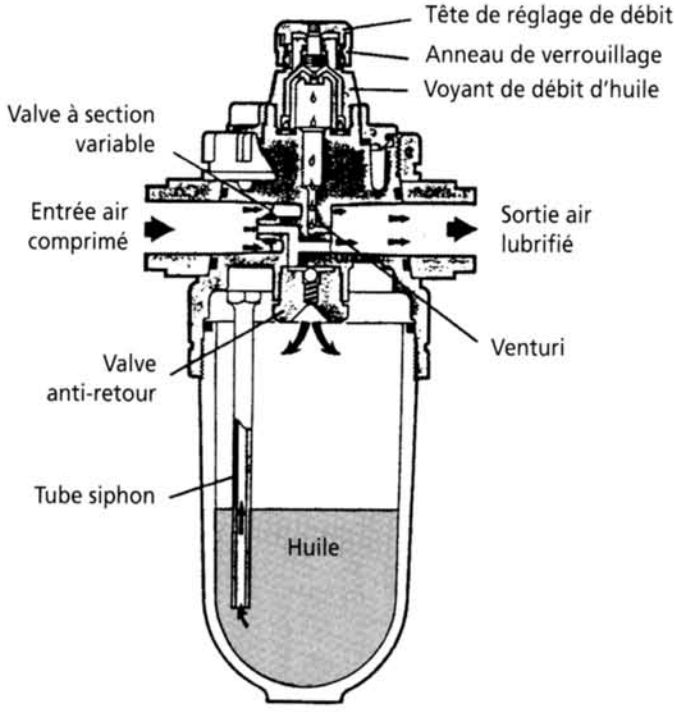


Figure 5.15 – Lubrificateur à brouillard d'huile. (Schéma © Norgren Martonair.)

Le réglage de débit se fait au moyen de la tête supérieure qui réagit sur la variation de la section de la valve automatique. La tête de réglage est verrouillée en poussant l'anneau vers l'intérieur.

■ Lubrificateur à microbrouillard

L'air comprimé traverse le lubrificateur en passant par une valve à section variable. Une partie de l'air passe au centre de la valve et se divise en petits jets croisés, créant un effet de venturi. La différence de pression entre la cuve et le voyant de débit provoque une circulation d'huile dans le tube siphon vers la tête

de réglage. En retombant dans la zone de venturi, les gouttes d'huile sont divisées en fines particules sous l'action des jets croisés. Les particules de dimension supérieure à 2 µm retombent dans la cuve sous l'action de la pesanteur. Les plus petites particules constituent le microbrouillard qui sera introduit dans le courant d'air de sortie au travers d'un orifice (figure 5.16).

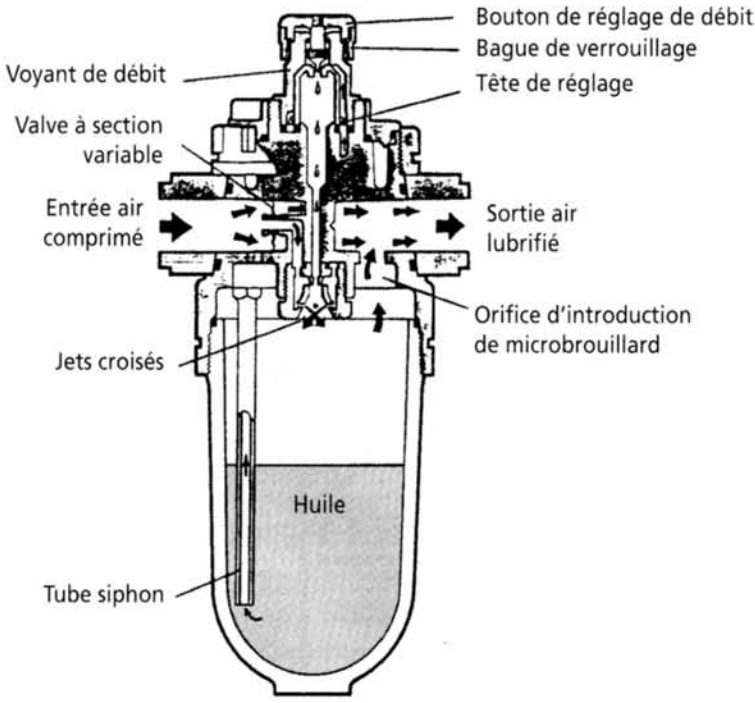


Figure 5.16 – Lubrificateur à microbrouillard. (Schéma © Norgren Martonair.)

Le réglage de débit se fait au moyen du bouton supérieur qui réagit sur la variation de la section de la valve automatique. Le bouton de réglage est verrouillé en poussant la bague vers l'intérieur.

5.7.2 Caractéristiques d'utilisation

■ Filtre et régulateur

Le débit admissible dans le filtre doit être choisi correctement pour qu'il puisse réagir efficacement, en évitant au maximum les chutes de pression qui engendrent des déperditions d'énergie.
L'utilisation du filtre régulateur combiné offre l'avantage d'être plus compact et plus économique.

■ Lubrificateurs

- Le lubrificateur à brouillard d'huile délivre un brouillard très dense. Il est convenable pour le réseau qui nécessite une lubrification abondante.
- Le lubrificateur à microbrouillard délivre un brouillard beaucoup plus fin, capable d'être véhiculé sur de longues distances, au travers de circuits complexes, et distribué vers plusieurs outils.

■ Montage

Le montage des éléments FRL (figure 5.17), sur une embase double avec vanne d'isolement pré-installée sur la ligne du réseau, se fait de la manière suivante :

- mise en place du filtre régulateur,
- montage du manomètre,
- mise en place du lubrificateur,
- remplissage du lubrificateur avec de l'huile,
- ouverture de la vanne d'isolement pour la mise sous pression, réglage de la pression et verrouillage,
- réglage de débit d'huile et verrouillage,
- contrôle général.

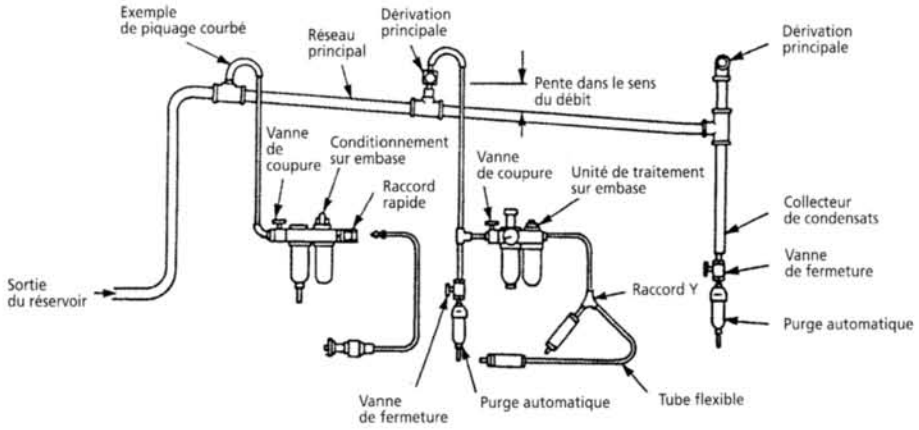


Figure 5.17 – Réseau de distribution d'air comprimé. (Schéma © Norgren Martonair.)

5.7.3 Maintenance préventive

■ Surveillance quotidienne

L'eau se condense dans le filtre à air. Cette eau est souvent chargée de particules solides provenant de la corrosion dans les canalisations, voire même d'huile brûlée du compresseur formant une solution jaunâtre. Il est nécessaire de purger régulièrement le compresseur et de le vidanger en cas d'absence de purgeur automatique.

Le remplissage du lubrificateur se fait périodiquement en utilisant une huile de préférence de viscosité 1,5 à 4° Engler à 50 °C
Le manomètre sur le régulateur indique la pression de réglage désirée. Il faut vérifier que la pression du réseau soit maintenue et que le manomètre indique bien zéro lorsqu'il n'y a pas de pression.
Une fuite d'air est un gaspillage d'énergie. Une campagne de détection de réseau d'air comprimé peut être réalisée grâce à l'utilisation d'une bombe d'aérosol produisant des effets moussants (par exemple, loctite 7100 à base de sulfonate de synthèse compatible avec tous métaux).

■ **Entretien**

L'élément filtrant doit être lavé périodiquement à l'eau chaude en prenant soin de son état.
Régulièrement, il est nécessaire de démonter le régulateur de pression, de le nettoyer et de le remonter en prenant soin de graisser (graisse Molycote G rapide) toutes les pièces en mouvement (clapet, tige...) et ressorts.

5.8 Vérin pneumatique

Le vérin pneumatique est un actionneur qui convertit d'une façon simple l'énergie d'air comprimé en mouvement linéaire.
Deux types de vérins répondant aux prescriptions dimensionnelles du CNOMO (Comité de normalisation outillage et machine-outil) :

- Vérin à double effet : aller et retour par la mise sous pression alternativement de chacune des faces du piston (commande par distributeur 4 ou 5 orifices).
- Vérin à simple effet : le déplacement est obtenu par mise sous pression d'une face du piston, le retour du piston est assuré par un ressort (commande par distributeur 3 orifices). L'utilisateur peut employer les vérins double effet en simple effet.

5.8.1 Caractéristiques

■ **Construction**

- Cylindre : tube en acier étiré, acier rodé ou acier rodé chromé...
- Piston : alliage léger, étanchéité par garniture en caoutchouc synthétique, segments porteurs en Téflon chargé.
- Tige : acier à haute résilience chromé dur. Extrémité pouvant recevoir un contre-écrou, une chape femelle ou une chape mâle. Il existe une tige normale ou une tige traversant (sortant sur les deux côtés du cylindre).
- Tirants : les fonds sont assemblés sur le cylindre au moyen de 4 tirants en acier qui servent également pour l'assemblage des divers organes de fixation.

L'alésage est le diamètre intérieur du cylindre. La course est la longueur de déplacement du piston (figure 5.18).

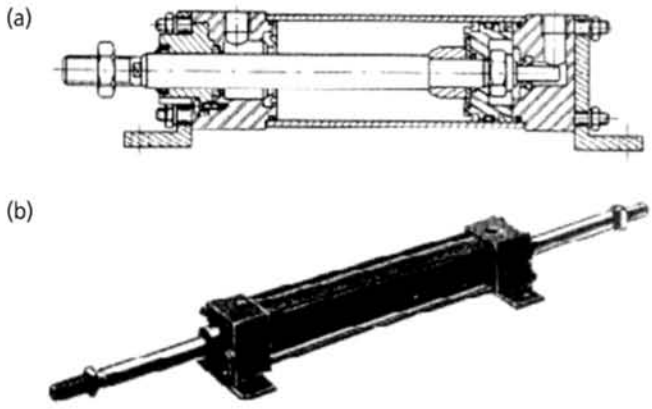


Figure 5.18 – Vérin (a) pneumatique (b) à tige traversant.

■ Fonctionnement

- Pression nominale : 8 bar.
- Pression maximale : 12 bar.
- Température maximale : 90 °C.
- Alimentation : air filtré, déshydraté et lubrifié (huile non détergente et sans additif agressif – point d'aniline environ 90).

Les vérins pneumatiques peuvent être prévus pour un fonctionnement avec de l'air non lubrifié (montage spécial avec graisse au bisulfure de molybdène).

■ Temps de manœuvre

- Temps de réponse : temps qui s'écoule entre l'inversion du distributeur et l'instant où la pression de démarrage est atteinte.
- Temps de fonctionnement : temps qui s'écoule entre le début et la fin de course.
- Temps de manœuvre : somme de ces deux temps.

■ Amortissement

Les vérins peuvent être équipés d'un amortisseur fixe ou réglable permettant de ralentir automatiquement le piston en fin de course sans diminuer la poussée. L'utilisation des joints à lèvres permet d'annuler cet effet pour obtenir un démarrage rapide du piston.
Pour les vérins de type Cnomair, la distance d'amortissement est fonction de l'alésage :

- alésage 25 et 32 : amortissement 16 mm ;
- alésage 40 et 50 : amortissement 22 mm ;
- alésage 63 et 80 : amortissement 24 mm ;
- alésage 100 et 125 : amortissement 24 mm ;
- alésage 160 et 200 : amortissement 30 mm.

Pour des courses inférieures ou égales à une fois et demie la longueur d'amortissement, il est inutile d'utiliser les vérins amortis, car l'amortissement peut être obtenu en étranglant simplement les orifices d'admission.

■ **Désignation**

P 40 A 200

P : pneumatique. 40 : alésage d'alésage (en mm). A : amorti ou N : non amorti. 200 : course (en mm).

5.8.2 Surveillance quotidienne

Les défaillances des vérins pneumatiques sont généralement dues à l'usure ou l'endommagement des joints d'étanchéité. D'autres pannes proviennent d'éraflures, de rayures, de piquage du tube et de la tige de piston.
La surveillance d'un vérin pneumatique est principalement la vérification de fuite afin de surveiller l'état des joints d'étanchéité.

■ **Vérification du joint de nez**

Lorsque le vérin se trouve avec la tige rentrée et la partie avant sous pression, il ne doit pas y avoir de fuite au nez. Cette vérification se fait facilement en déposant sur la tige près du nez une pellicule d'huile. L'apparition des bulles révèle une fuite plus ou moins intense (figure 5.19).

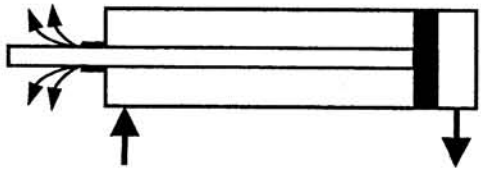


Figure 5.19 – Vérification du joint de nez.

■ **Vérification des joints de piston**

La partie avant est toujours sous pression et la tige est rentrée. On vérifie qu'il n'y a pas de fuite sur l'orifice du fond arrière, en procédant de la même façon que précédemment. Cette vérification peut se faire également avec la tige sortie, la partie arrière sous pression et la partie avant à l'atmosphère. Dans ce cas, on vérifie l'absence de fuite sur l'orifice du côté tige (figure 5.20).

■ **Vérification de la tige**

On vérifie l'état de surface de la tige qui peut être rayée, rouillée ou endommagée.

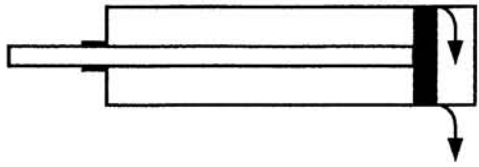


Figure 5.20 – Vérification des joints de piston.

5.8.3 Entretien du vérin

■ **Démontage**

Selon les états constatés lors des vérifications quotidiennes, on procède au démontage du vérin pour une inspection complète. Pour ce faire :

- desserrer les 4 écrous de fixation des tirants dans l'ordre croisé ;
- repérer l'emplacement des fixations ;
- détacher le fond du tube à l'aide d'un maillet en bois ou en plastique ;
- déposer et nettoyer les divers éléments ;
- examiner tous les joints d'étanchéité pour détecter tous les signes d'usure.

■ **Inspections**

□ **États des joints**

À chaque démontage d'un vérin, tous les joints seront remplacés, y compris les rondelles d'étanchéité tube-flasque. Les joints doivent être manipulés à la main ou avec l'aide d'un outil effilé en bois ou en plastique. Ne jamais utiliser l'outil métallique à angle vif ou tranchant. Prendre soin de bien replier la languette de retenue de l'anneau de maintien du joint d'amortissement.

□ **État de la tige**

Une tige ayant des défauts d'une profondeur inférieure à 0,01 mm peut être repolie avec de la toile émeri très fine et de l'huile. Le polissage sera fait dans le sens radial. Une tige présentant des défauts d'une profondeur supérieure à 0,01 mm est à remplacer.

□ **État du piston**

La partie extérieure du piston peut être rayée par frottement avec le tube du vérin. Dans ce cas, il faut retoucher à la lime fine et à la toile émeri très fine. Prendre soin d'éviter toutes bavures qui pourraient endommager les joints au montage. Les gorges de logement des joints ne doivent en aucun cas être retouchées.

□ **État du tube**

L'état de surface intérieure du tube est très important pour la longévité des joints. Examiner cette surface pour déceler les défauts éventuels. Le polissage se

fait à la toile émeri fine et à l'huile, dans le sens longitudinal. Un tube très abîmé devra être remplacé.

☐ **État des flasques**

- Nettoyer les flasques d'extrémité et la bille du clapet de démarrage rapide.
- Enlever et contrôler l'état des vis d'amortissement. Remplacer les joints toriques.
- Vérifier les orifices d'arrivée d'air. Ils peuvent être détériorés par un serrage exagéré des raccords d'alimentation.
- Contrôler la chambre d'amortissement. Si elle est rayée, remplacer le flasque.

☐ **État de la douille guide**

La douille guide se trouve dans le nez du vérin. Elle sera remplacée, si elle est usée ou ovalisée. La bague guide doit être remplacée systématiquement si elle est en nylon.

■ **Remontage**

La condition de propreté est très importante pendant la phase de remontage du vérin.

- Avant de procéder au remontage, vérifier que tous les éléments sont propres et que la douille du palier coulisse librement sur la tige sans point dur.
- Graisser le tube et les joints (utiliser de la graisse au savon de lithium légèrement chargé en MoS_2, si possible).
- Introduire le piston dans le tube de façon à ne pas abîmer les lèvres des joints.
- Monter les joints toriques ou les joints plats sur les centrages de tube des flasques.
- Ajuster le tube sur le flasque arrière, et introduire le flasque avant. Prendre soin de ne pas abîmer les joints du nez au passage de la tige.
- Mettre les tirants en place, et les serrer en respectant l'ordre croisé, et en respectant également les couples de serrage.
- Placer le vérin sur une surface plane avant de bloquer les tirants.

5.8.4 Essais du vérin

La table d'essai doit être équipée d'un circuit d'air comprimé équipé d'un ensemble filtre + régulateur + lubrificateur et d'un distributeur de commande. Les essais sont nécessaires après une réparation nécessitant un démontage et un remontage. Ils s'effectuent en trois étapes.

■ **Essai préliminaire**

Mettre la pression à 0 bar et raccorder l'orifice arrière du vérin au circuit d'air comprimé. Ensuite, augmenter la pression lentement jusqu'à ce que la tige et le piston se déplacent. Il se peut qu'un léger point dur immobilise le piston et la tige dans leur déplacement. Dans ce cas, continuer à augmenter doucement la pression, la tige et le piston doivent se mettre en mouvement.

En aucun cas, la pression de décollement ne doit pas dépasser *1 bar*, sauf spécification particulière. Dans cette éventualité, c'est un point dur anormal, soit au niveau du piston, soit au niveau de la bague guide. Il faudra alors remettre le vérin hors pression et le débrancher pour effectuer les vérifications du piston, de la tige, du palier et également des flasques. Un serrage incorrect des tirants peut être à l'origine d'un défaut d'équerrage des flasques et ainsi causer un mauvais alignement de la douille guide.
Dans le cas où la douille guide est métallique, et si elle est serrée sur la tige, il sera nécessaire de la réaliser de façon à ce qu'elle coulisse assez librement sur la tige.
Répéter cet essai jusqu'à ce que l'ensemble tige + piston se déplace sur toute la course avec une basse pression. Pour les grandes courses, prendre la précaution de soutenir la tige à l'extrémité.
La pression de décollement des vérins pneumatiques est de l'ordre de 0,2 bar pour les grands alésages et de 0,8 bar pour les petits alésages.

■ Essai dynamique

Le vérin ayant satisfait à l'essai préliminaire, effectuer quelques allers et retours sous une pression de 2 bar. Le déplacement de la tige et du piston doit être régulier.
Augmenter progressivement la pression jusqu'à 7 bar ou 10 bar en répétant les opérations d'aller retour. Le mouvement doit être lent et régulier à une vitesse de 50 mm/s. Essayer d'augmenter aussi la vitesse et s'assurer qu'aucune fuite audible ne se manifeste au cours de l'essai.

■ Essai statique

Les deux essais précédents permettent aux joints d'étanchéité de prendre leur place. Ce dernier essai est la vérification d'étanchéité qui s'effectue à 2 bar et à 7 bar (ou 10 bar).

□ Tige rentrée

La pression est appliquée à la partie avant du vérin. Vérifier qu'il n'y a pas de fuite :

- en bout de palier, à la sortie de la tige ;
- à la jonction du tube et du flasque ;
- à l'orifice du flasque arrière, ce qui serait le signe d'une mauvaise étanchéité entre le piston et le tube.

□ Tige sortie

La pression est appliquée à la partie arrière du piston. Vérifier qu'il n'y a pas de fuite à l'orifice du flasque avant.
Pendant cet essai, vérifier l'efficacité des amortissements (si le vérin en est muni) dont les vis de réglage seront au préalable serrées à fond, puis desserrées légèrement, environ d'un quart de tour.

À la vitesse normale, entre 200 et 300 mm/s, le ralentissement en fin de course doit être net.
Lorsque les vis d'amortissement sont desserrées au maximum, le ralentissement doit être encore sensible, mais peu important.
Le vérin ayant satisfait à tous les essais, il sera remis en service, et les précautions d'usage seront prises lors du montage et notamment pour l'alignement.

6 • HYDRAULIQUE

6.1 Centrale hydraulique

6.1.1 Introduction à l'hydraulique

■ **Théorème de Pascal**

Les liquides transmettent intégralement et en tous leurs points les variations de pression qu'ils subissent.
Considérons deux vases communicants de section respective S_1 et S_2 (figure 6.1).

Une force F_1 appliquée sur l'une des surfaces crée une pression : $P_1 = \frac{F_1}{S_1}$.

Cette pression P_2 transmet en S_2 une force F_2 telle que : $P_2 = \frac{F_2}{S_2}$.

D'après le principe de la transmission, on obtient l'équation : $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$.

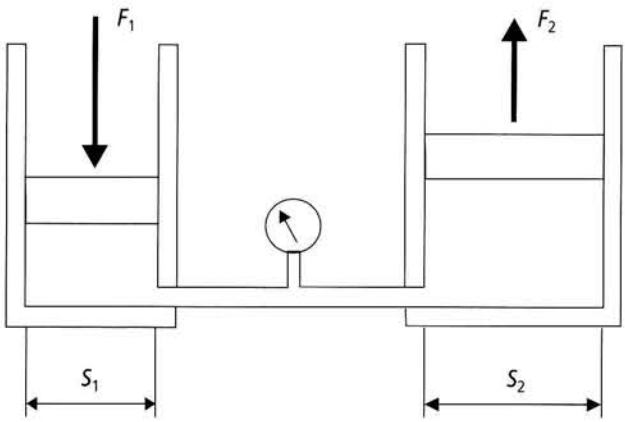


Figure 6.1 – Principe de base de l'hydraulique.

■ Énergie hydraulique

L'hydraulique est un moyen de transmission de l'énergie à distance par l'intermédiaire d'un fluide. Le fluide étant très peu compressible, une très faible réduction de volume amène une rapide augmentation de pression qui se transmet en tout point du circuit.
L'énergie hydraulique est similaire à l'énergie pneumatique. Elles se différencient par leur domaine d'application :

- réseau pneumatique : pression comprise entre 6 et 10 bar ;
- réseau hydraulique : pression élevée jusqu'à 500 bar.

■ Avantages de l'hydraulique

□ Force et couple élevés

Pour des raisons de rentabilité, la force des vérins pneumatiques ne dépasse généralement pas 2 500 daN et leur course est limitée à 2 m.
Il n'y a pas de limite à la quantité d'énergie transmise par le circuit d'hydraulique si ce n'est la résistance des matériaux.

□ Grande souplesse d'exploitation

Les appareils hydrauliques offrent une large gamme de paramètres d'utilisation :

- vitesse de translation ou de rotation contrôlée par le débit de circulation d'huile ;
- force et couple contrôlés par la pression.

□ Bonne précision et régulation

Le fluide hydraulique étant considéré comme incompressible, les appareils qu'il entraîne ont une bonne précision d'arrêt et une bonne régulation de vitesse.

□ Excellent pouvoir lubrifiant

Le fluide hydraulique offre une excellente lubrification des appareils, ce qui réduit leur usure et permet de très bons rendements (jusqu'à 0,92 pour certaines pompes et 0,90 pour certains moteurs hydrauliques). Le fonctionnement est assez silencieux.

■ Inconvénients de l'hydraulique

□ Perturbation par la présence d'air

La présence d'air dans le fluide hydraulique entraîne une instabilité de vitesse et une irrégularité des forces.

□ Fuite

Dans la technologie hydraulique, des légères fuites de certains appareils sont inévitables. En effet les organes comportent des pièces mobiles : tiroirs, pistons, clapets coulissant sans joint dans un alésage dont l'étanchéité est assurée par la qualité d'usinage. Les tolérances sont très serrées. Mais le déplacement rapide des

pièces mobiles nécessite un jeu mécanique, ce qui permet au fluide de s'introduire et de fuir.
Une fuite peut être interne et l'huile retourne généralement à la bâche. Mais dans certains cas, un circuit de drainage est nécessaire pour éviter le blocage des organes.

□ Risque d'incendie

La plupart des circuits hydrauliques utilisent les huiles minérales inflammables. Une petite fuite en haute pression se traduit par une évaporation de l'huile avec risque d'incendie ou d'explosion au voisinage d'une source de chaleur ou en présence d'une flamme.
L'utilisation de fluides difficilement inflammables offre une amélioration de la sécurité de certaines installations. Ces fluides devront être choisis avec soin d'après leurs caractéristiques, à faire préciser éventuellement par le fabricant car certains d'entre eux sont nocifs à l'homme et à certains matériaux.

□ Perte de charge

Le frottement de la veine de fluide sur les parois des tuyauteries ou son passage dans des organes amène des pertes de charge. Ces pertes de charge normales sont à prendre en compte dans la détermination des matériels et des conduites.
Les pertes de charge se traduisent par une baisse de pression. Les autres causes sont le colmatage du filtre et le dysfonctionnement de la pompe.

□ Dégradation de qualité du fluide

Les huiles hydrauliques possèdent tous les défauts des huiles de lubrification.
En raison de certains inconvénients, l'hydraulique n'est pas utilisée dans certains secteurs de l'industrie (pharmaceutique et alimentaire). Il y a des risques de pollution de l'atmosphère. En cas de nécessité, l'installation est placée dans une zone technique isolée de la fabrication.

6.1.2 Circuits hydrauliques

■ Circuits ouverts

Le fluide circule du réservoir vers la pompe qui le refoule vers l'organe actionneur (vérin ou moteur hydraulique). Puis il retourne au réservoir (figure 6.2).
Les circuits ouverts peuvent être :

- à centre ouvert ;
- à centre fermé.

□ Circuit ouvert à centre ouvert

Le distributeur à centre ouvert doit laisser passer la totalité du débit. La pression dépend de la charge des appareils (figure 6.3).

□ Circuit ouvert à centre fermé

Grâce à une pompe à cylindrée variable, la pression est maintenue sensiblement constante au repos et durant les temps morts par une variation du débit.

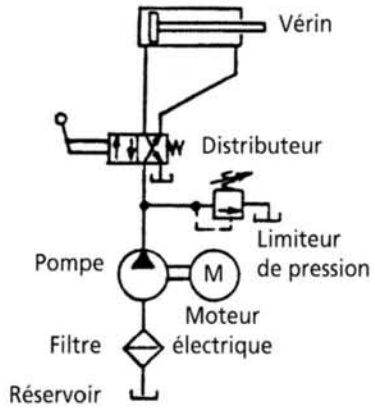


Figure 6.2 – Circuit hydraulique ouvert.

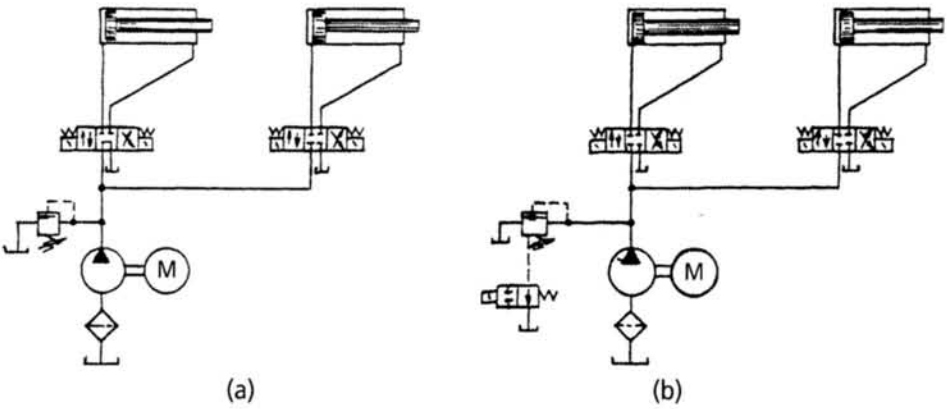


Figure 6.3 – Circuit ouvert (a) à centre ouvert et (b) à centre fermé.

Le débit de la pompe peut être constant ou variable :

- avec une pompe à cylindrée constante, la variation de débit utile est obtenue par un limiteur ou un régulateur de débit ;
- avec une pompe à cylindrée variable, on obtient une grande variation de débit ;
- avec plusieurs pompes, les débits s'ajoutent et on obtient une plage de variation importante de débit.

■ Circuit fermé

Le fluide circule en circuit fermé de la pompe vers l'actionneur et de l'actionneur vers la pompe (figure 6.4).

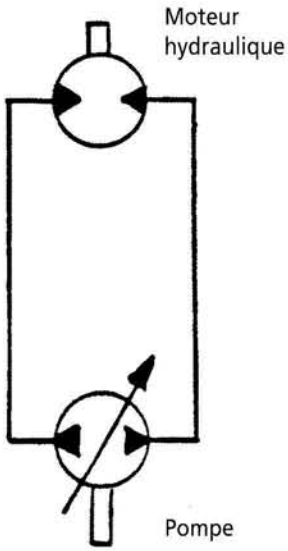


Figure 6.4 – Circuit hydraulique fermé.

■ Circuit hydraulique type

□ Bâche

La bâche constitue la réserve d'huile du circuit hydraulique. C'est dans cette bâche que l'huile est filtrée, décantée, désémulsionnée et régulée en température. Ce qui fait que le réservoir doit avoir certaines caractéristiques bien définies.

□ Pompe principale

Cette pompe fournit le débit dans le circuit. Généralement on utilise une pompe volumétrique qui permet d'atteindre les pressions nécessaires.
Une pompe à piston offre la possibilité d'atteindre la haute pression jusqu'à 500 bar et plus sous certaines conditions. Une pompe centrifuge est utilisée pour faire circuler le fluide sous une faible pression.
On peut distinguer trois types de circuits :

- basse pression : ≤ 100 bar ;
- moyenne pression : ≤ 200 bar ;
- haute pression : ≤ 500 bar.

□ Pompe de gavage

Tous les appareils hydrauliques fuient, ce qui nécessite d'avoir une pompe de gavage qui assure le renouvellement de l'huile en injectant en permanence dans le circuit environ 10 % du débit principal sous une pression de 10 à 15 bar, afin de

remplir le circuit et de compenser toutes les fuites. L'huile excédentaire est évacuée vers le réservoir.

□ **Filtre et crépine d'aspiration**

Les crépines, situées à l'aspiration des pompes et immergées dans le réservoir, éliminent les particules de grosses dimensions (plus de 100 µm). Ensuite, au refoulement de la pompe, les particules fines sont éliminées par le filtre placé au départ de l'huile vers le circuit d'utilisation.
Le colmatage du filtre est indiqué par le détecteur d'encrassement.

□ **Accumulateur**

L'accumulateur régularise la pression du circuit par le maintien et la restitution d'un certain volume d'huile.

□ **Tuyauteries**

Elles peuvent être soit rigides, soit souples (flexibles). Tout l'ensemble doit conduire au minimum de pertes de charge, et ne doit pas occasionner de fuites, ni polluer l'huile du circuit.

□ **Organes d'asservissement et de commande**

Ce sont les distributeurs, les soupapes, les clapets anti-retour, le régulateur de débit, etc.

□ **Régulation de température**

Le réservoir peut être équipé d'une résistance chauffante pour garder l'huile à une certaine température pendant la saison froide.
Dans le cas d'une utilisation intense, un refroidisseur est installé dans le circuit de retour d'huile. En général, on utilise un échangeur eau/huile pour refroidir l'huile en service.

6.1.3 Fluides hydrauliques

Les fluides hydrauliques sont appelés souvent huiles et possèdent toutes les définitions de caractéristiques des huiles de lubrification. Ils sont classés en deux principaux groupes : les huiles minérales et les huiles difficilement inflammables.

■ **Huiles minérales**

- Fluides de catégorie HH : huiles minérales non inhibées, pratiquement pures, possédant un pouvoir lubrifiant médiocre.
- Fluides de catégorie HL : huiles minérales possédant des propriétés anti-oxydantes et anticorrosion.
- Fluides de catégorie HM : huiles minérales possédant des propriétés particulières anti-usure.
- Fluides de catégorie HV : huiles minérales possédant des propriétés améliorées de viscosité et de température d'utilisation.

Chaque catégorie est divisée en sept classes correspondant à une viscosité moyenne mesurée à 40 °C : 15, 22, 32, 46, 68, 100 et 150.
Les huiles minérales les plus utilisées sont celles de catégorie HM et HV.

■ **Huiles difficilement inflammables**

- Fluides de catégorie A : il s'agit d'une émulsion de 10 à 20 % d'huile dans une eau non calcaire et sans bactéries. Le pouvoir lubrifiant est limité. La température d'utilisation est comprise entre +5 °C et +50 °C.
- Fluides de catégorie B : il s'agit d'une émulsion d'eau dans l'huile. La proportion d'huile est de 50 à 60 % du volume total. Le pouvoir lubrifiant reste médiocre.
- Fluides de catégorie C : il s'agit d'une solution de polyglycols dans l'eau. La proportion d'eau est de 35 à 65 %. La qualité de lubrifiant et l'indice de viscosité sont assez bons. Ces fluides sont agressifs à l'égard de métaux non ferreux : cadmium, zinc, magnésium. Ils attaquent certaines peintures, les vernis et le liège. La température d'utilisation est comprise entre –20 °C et +50 °C.
- Fluides de catégorie D : ce sont des fluides synthétiques, à base d'esters phosphatés ou d'hydrocarbures halogénés. Ils ont une densité comprise entre 1,1 et 1,4, supérieure à celle des autres fluides hydrauliques. La température d'utilisation est comprise entre –20 °C et +150 °C.

Certains fluides synthétiques ne sont pas compatibles avec les élastomères, les peintures, le téflon et certains métaux non ferreux. Certains sont nocifs pour l'homme.

■ **Nomenclature d'huile**

Dans la pratique les huiles couramment utilisées en hydraulique sont :

- Shell : Tellus T 37
- Elf : Olna 32 ou Visga 32
- Esso : Nuto H 32
- Total : Azolla 46
- BP : Energol HLP 32
- Mobil : DTE 24

6.1.4 Caractéristiques d'une centrale hydraulique

■ **Réservoir**

- La mise à l'air libre permet à la pression atmosphérique de réagir sur la surface du fluide et d'améliorer la pression d'alimentation et la pression de gavage. Elle est assurée par un reniflard muni d'un filtre d'air démontable.
- Le fond de la bâche est en pente de 6 %, pour faciliter l'évacuation des dépôts d'impuretés. Le robinet de purge est placé au point bas.
- La canalisation de retour est arrêtée à une distance égale à trois fois le diamètre du fond de réservoir. Elle est terminée par une coupe de 45° et dirigée vers la paroi. Dans certains cas, un diffuseur placé à la sortie diminue l'émulsion d'huile.

– La cloison anti-émulsion sépare le réservoir en zone d'aspiration et zone de retour, évitant le grand brassage du fluide. La formation de mousse en est diminuée (figure 6.5).

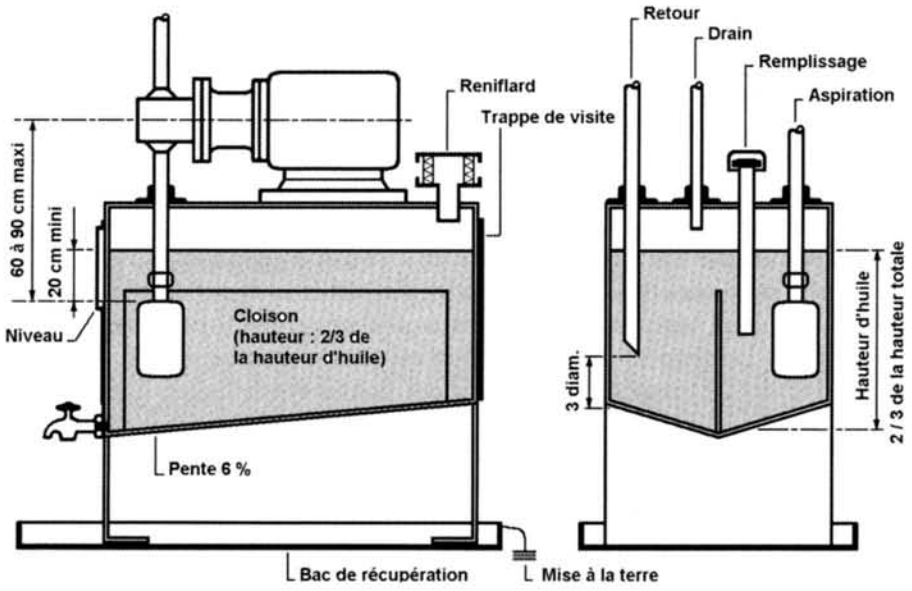


Figure 6.5 – Centrale hydraulique.

■ Tuyauteries rigides

Les matériaux sont choisis en fonction des pressions et des fluides.

□ Tuyauteries en haute et moyenne pression

Elles sont en tube d'acier étiré à froid (nuance A37) pour les huiles minérales, ou en acier inoxydable pour les huiles synthétiques.

□ Tuyauteries en basse pression

On trouve des tuyauteries en cuivre, aluminium et ses alliages, et parfois en rilsan pour les très basses pressions.

□ Recommandations pour le montage

– Les tuyauteries doivent avoir un nombre minimal de coudes.
– Le rayon de cintrage du tube doit être égal à au moins trois fois le diamètre extérieur du tube.
– Les raccords doivent être montés sur la partie droite de la tuyauterie.
– Les tuyauteries doivent être maintenues fermement à chaque changement de direction de la veine de fluide.

■ Tuyauteries souples

Un flexible est constitué :

- d'un fourreau intérieur en caoutchouc synthétique résistant aux hydrocarbures et assurant l'étanchéité ;
- d'une ou plusieurs tresses textiles (basse pression) ou tresses de fils d'acier (moyenne et haute pression) qui lui donne sa résistance à la pression ;
- d'un enrobage en caoutchouc synthétique qui le protège des agents extérieurs. Parfois une tresse en coton imprégnée de caoutchouc protège l'ensemble.

□ Caractéristiques des flexibles

Le diamètre intérieur est choisi selon le débit. Il est désigné par le terme module qui correspond au diamètre intérieur exprimé en 1/16 de pouce. Par exemple, le module 8 correspond à un diamètre de 8/16, soit 1/2 pouce ou 12,7 mm.
Les textures définissent une gamme de pression :

- basse pression : une ou plusieurs tresses textiles ;
- moyenne pression : une tresse métallique et une ou plusieurs tresses textiles ;
- haute pression : deux tresses métalliques et une ou plusieurs tresses textiles ;
- très haute pression : quatre tresses métalliques et plusieurs tresses textiles.

□ Recommandations pour le montage des flexibles (figure 6.6)

- Sous l'action de la pression, le diamètre du flexible augmente et la longueur diminue. La réduction de longueur peut atteindre 4 % de la longueur initiale. Pour cette raison, la définition de la longueur des flexibles doit être assez large.
- Le rayon de courbure doit être supérieur à 10 ou 12 fois le diamètre intérieur pour que le flexible garde sa souplesse. Une partie droite d'environ 4 fois le diamètre extérieur du flexible doit être prévue à chaque extrémité.
- Le flexible doit être libre dans ses débattements et privé de tout frottement et de torsion.
- Selon les cas, les raccords appropriés seront choisis.

6.1.5 Facteurs de dégradation des fluides et de dysfonctionnements

■ Pollution par des solides

La pollution du fluide par particules abrasives est l'une des causes de défaillance des circuits hydrauliques. Les faibles jeux des composants hydrauliques sont incompatibles avec les particules trop grosses et en trop grand nombre.
La longévité du matériel dépendra de la qualité de filtration. Une filtration en continu à 30 µm est le minimum. Les filtrations plus fines peuvent être de 10 à 5 µm.

■ Pollution par l'eau

La présence d'eau entraîne la dégradation des fluides hydrauliques :

- oxydation,
- présence des produits réactionnels (savon, résine, acide...),

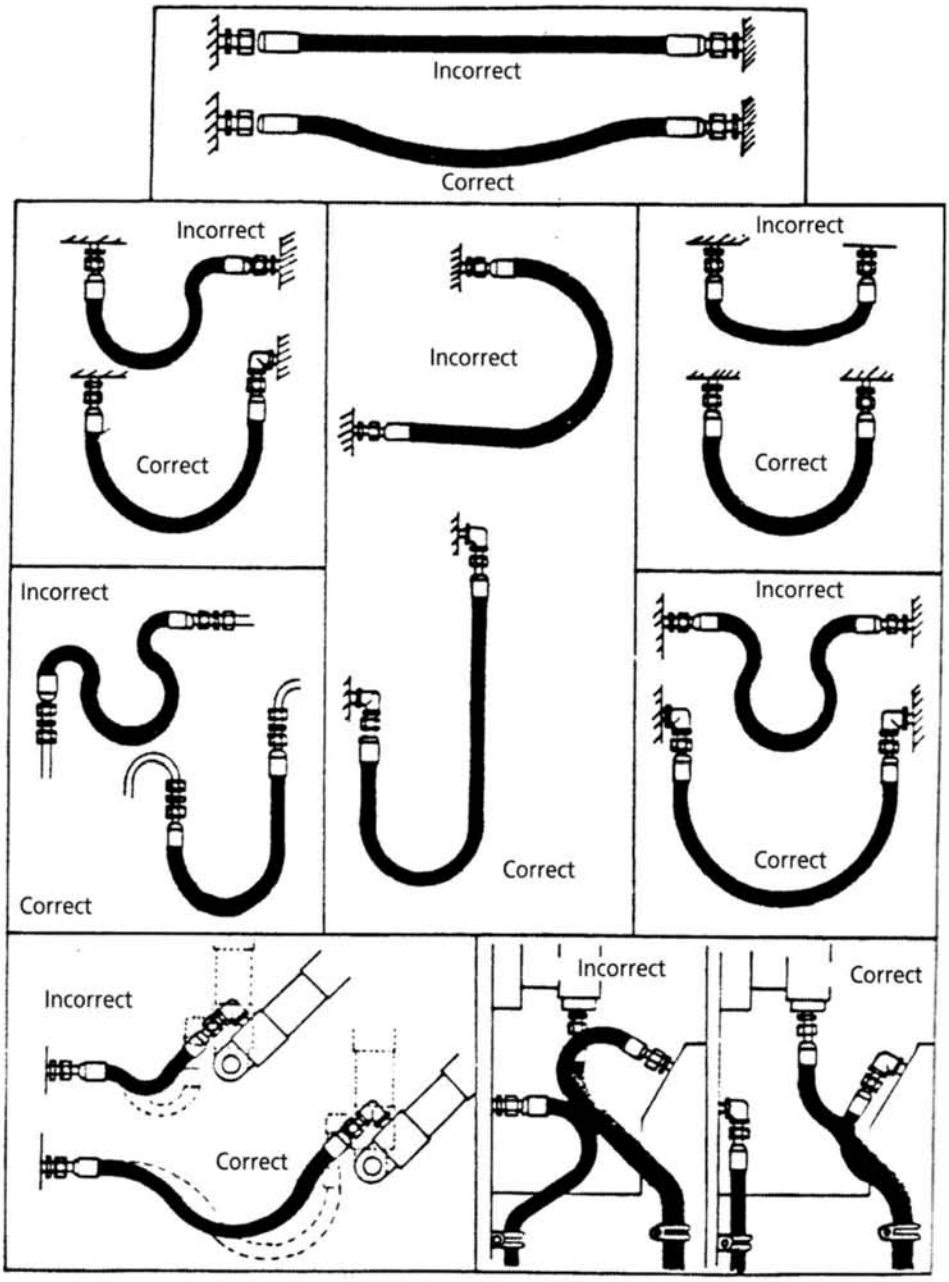


Figure 6.6 – Règles de montage des flexibles hydrauliques.

- augmentation de la conductibilité,
- formation d'émulsion,
- favorisation du développement microbien.

Cette pollution a des conséquences néfastes sur le système hydraulique :

- corrosion des composants,
- blocage des valves,
- colmatage des filtres fins,
- cavitation due aux vapeurs d'eau,
- réduction de la durée de vie des paliers.

■ Température de service

Une température élevée est favorable à l'altération de l'huile et nuisible aux composants du circuit hydraulique. L'idéal serait de ne pas dépasser 50 °C car, à cette température, l'altération des bonnes huiles hydrauliques reste relativement lente. Dans certains cas, il est nécessaire de prévoir un échangeur de chaleur pour refroidir l'huile.

Les facteurs pouvant entraîner la surchauffe des circuits sont :

- viscosité mal adaptée ;
- soupape de sûreté mal tarée, débit trop important ;
- refroidisseur encrassé ;
- encrassement du réservoir empêchant le rayonnement de la chaleur ;
- niveau d'huile trop bas ;
- conduites écrasées ou tordues ;
- usure de la pompe ;
- introduction d'air.

■ Introduction d'air

L'introduction d'air dans l'huile provoque de graves perturbations.

Les causes probables sont :

- canalisation d'aspiration non étanche ;
- pompe non étanche côté aspiration ;
- niveau d'huile trop bas ;
- turbulence excessive dans un réservoir trop petit ;
- tuyauterie de retour ne plongeant pas dans l'huile – moussage ;
- défaut de conception de la bâche.

■ Cavitation

La cavitation, due à un défaut sur l'aspiration, est caractérisée par un fonctionnement bruyant. Ce défaut peut entraîner une destruction de la pompe par érosion.

La cavitation peut provenir :

- d'une huile trop visqueuse (cas du démarrage d'une installation fonctionnant en plein air par temps froid) ;
- d'un encrassement de la crépine d'aspiration ;
- d'un étranglement de la tuyauterie d'aspiration.

Une installation en service à basse température devra avoir une résistance de chauffage pour maintenir l'huile à la bonne fluidité.
Une installation conçue pour fonctionner avec de l'huile minérale peut présenter un phénomène de cavitation au passage du fluide difficilement inflammable. Il est nécessaire dans ce cas de modifier le circuit d'aspiration en diminuant sa hauteur et en augmentant son diamètre.

6.1.6 Conséquences des fluides hydrauliques dégradés

■ Pollution fonctionnelle

La pollution fonctionnelle est générée en permanence par les organes en mouvement à l'intérieur du circuit. Elle peut avoir plusieurs causes :

- origine mécanique : abrasion, érosion, fatigue mécanique, adhésion ;
- origine chimique : cavitation, corrosion, sels et oxydes métalliques.

□ Abrasion

Les particules fines ou de l'ordre du micromètre de dimensions sensiblement égales au jeu fonctionnel pénètrent entre deux surfaces en mouvement. Cela provoque des arrachements de métal avec rayures et une augmentation du jeu et du taux de fatigue des pièces mécaniques chargées.

□ Adhérence

Elle est provoquée par la rupture du film d'huile entre deux pièces chargées animées d'un mouvement relatif. Des microsoudures prennent naissance au point de contact avec pour conséquence le grippage.

□ Cavitation

La destruction de pompes ou de moteurs hydrauliques par la cavitation a pour origine le dégazage des essences et aromates présents dans les fluides hydrauliques.

□ Corrosion

C'est une réaction entre les composants chimiques contenus dans le fluide qui attaque les surfaces métalliques. Les éléments d'origine de la corrosion rencontrés dans les systèmes hydrauliques sont l'eau, l'air, les solvants chlorés, l'hydrogène.

□ Érosion

L'érosion est provoquée par l'effet de jet d'une particule liquide ou solide s'écoulant à grande vitesse venant frapper la surface métallique.
Elle est sensible en hydraulique aux endroits où prennent naissance des forces hydrodynamiques élevées : ouvertures de tiroirs de servovalves et distributeurs à effets proportionnels, des arêtes de tiroirs de réduction de pression et cônes de clapets.

□ Fatigue mécanique

Elle est causée par des surcharges mécaniques agissant à la surface métallique. Des fissures apparaissent et des fragments métalliques se détachent, générant une pollution solide. Le phénomène de fatigue est rencontré essentiellement sur les paliers de pompes et les moteurs hydrauliques.

■ Pompes

Les impuretés dans le bloc de distribution provoquent les usures anormales des palettes, de la portée de l'arbre et des roulements, des engrenages, des pistons et des alésages.
Dans les pompes à débit variable, les impuretés peuvent causer un freinage, une réponse lente et un débit incontrôlable, ce qui entraîne des dysfonctionnements : température excessive et mauvaise utilisation de la puissance.

■ Limiteurs de pression

Les impuretés créent des vibrations et l'usure des sièges du limiteur. L'accumulation des impuretés perturbe le fonctionnement et la pression devient irrégulière.

■ Distributeurs

Les impuretés obturent les orifices, entraînent l'usure du tiroir et des sièges, provoquant une fuite importante.
L'accumulation des impuretés peut freiner le mouvement des tiroirs, détériorer les électro-aimants, bloquer les valves et créer des coups de bélier.

■ Moteurs hydrauliques

Les impuretés réagissent comme un catalyseur qui casse la structure moléculaire et amène des résidus de caoutchouc, provoquant le gommage.

■ Vérins

Les impuretés dans le fluide hydraulique sont les sources de l'usure de la tige, du piston, des joints et le dysfonctionnement des amortisseurs.

6.1.7 Entretien préventif

■ Vérifications quotidiennes

- Nettoyage du réservoir et du bac de récupération de fuite.
- Vérification de l'absence de fuites anormales. Bien que les organes hydrauliques fuient toujours légèrement, une fuite importante indique des usures internes. Une installation propre facilite le suivi de l'évolution des fuites.
- Vérification de niveau et de l'aspect de l'huile du réservoir.
- Nettoyage du reniflard.
- Vérification de l'état des tuyauteries.
- Vérification de l'indicateur de colmatage des filtres.

■ **Nettoyage des filtres**

- Nettoyage de la crépine d'aspiration immergée.
- Nettoyage ou remplacement du filtre de départ et du filtre de retour.

■ **Remplacement d'huile**

En principe le renouvellement des huiles hydrauliques est annuel. Lorsque la quantité est assez importante et l'application est délicate, le prélèvement pour analyse permet à la fois de faire des économies de remplacement systématique et de détecter les anomalies des organes mécaniques à partir des éléments de pollution trouvés dans l'huile.
La vidange doit être suivie de l'opération de nettoyage du réservoir et de l'échangeur. Pour un échangeur eau/huile, le nettoyage se fait en utilisant :

- côté huile : eau chaude + détergent ;
- côté eau : solution à 10 % d'acide chlorhydrique.

6.2 Filtration d'huile hydraulique

6.2.1 Filtration

Dans 80 % des cas, les dysfonctionnements dans les circuits hydrauliques proviennent d'un mauvais état ou de la dégradation du fluide hydraulique.

Les impuretés provoquent :

- une usure excessive des organes mécaniques ;
- une perte de charge ou une diminution d'énergie hydraulique ;
- un encrassement des organes de régulations et de distribution.

Les impuretés peuvent être :

- abrasives : sable, limaille, copeaux, grains de soudure, rouille... Elles augmentent l'usure interne et provoquent des pannes ;
- non abrasives : dépôt de vernis, débris des joints... Ces impuretés finissent par coller ou gommer les clapets et les tiroirs, par obturer les orifices de pilotage, amenant ainsi des pannes fugitives difficilement décelées.

La filtration s'effectue à deux niveaux :

- les crépines éliminent les particules de grosses dimensions ;
- les filtres éliminent les particules très fines.

Dans un circuit hydraulique, la filtration se fait en trois étapes :

- à l'aspiration ;
- au départ sur réseau d'utilisation ;
- au retour du réseau.

■ Filtration à l'aspiration

□ Crépine d'aspiration

La crépine d'aspiration est constituée par un tamis métallique dont le maillage est de 100 à 150 µm. Elle est placée à l'entrée de la pompe et immergée dans l'huile de la centrale hydraulique. Son débit correspond à 2 ou 3 fois celui de la pompe. Sa perte de charge est d'environ 30 mbar.
Dans la pratique, la crépine d'aspiration peut être doublée ou triplée pour éviter un démontage fréquent (figure 6.7).

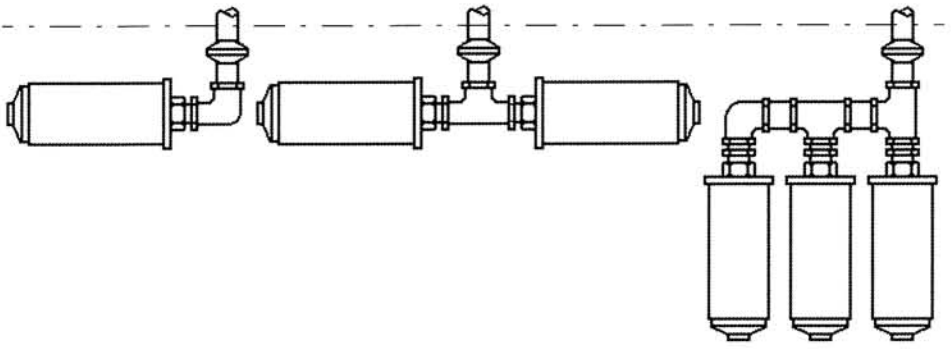


Figure 6.7 – Montage des crépines.

□ Filtre non immergé

Le filtre d'aspiration peut être placé à l'extérieur du réservoir hydraulique et juste à l'entrée de la pompe. La filtration est plus fine : de 80 à 100 µm.

■ Filtration au départ

Le filtre est placé après le refoulement de la pompe. Il est indispensable d'avoir une filtration très fine de 10 µm voire même de 3 à 5 µm pour un circuit à servovalve. Cette protection impose des appareils très solides.

■ Filtration de retour

À la fin de son parcours dans le réseau, l'huile est nettoyée par une filtration de 25 à 30 µm (pouvant descendre jusqu'à 10 µm).
Le débit du filtre est égal à celui de l'aspiration (2 ou 3 fois celui de la pompe).
La perte de charge normale est de 0,25 à 0,50 bar.
Le filtre doit être équipé d'un clapet antiretour et éventuellement d'un indicateur de colmatage.

■ Compléments de filtration

Parfois on complète les trois procédés de filtration de l'huile en circulation par d'autres actions.

□ **Filtre sur le remplissage**

Un tamis de 100 à 150 µm est placé à l'entrée de l'orifice de remplissage.
Par ailleurs, avant le remplissage l'huile doit circuler à travers un filtre de 25 à 30 µm au cours du dépotage.

□ **Filtre sur la respiration**

Pour une ambiance très polluée, un filtre papier de 30 à 40 µm est placé sur le reniflard.

□ **Épuration magnétique**

Il s'agit des aimants en forme d'anneau montés sur l'orifice de remplissage ou autour de la crépine d'aspiration.

■ **Purification d'huile**

Par mesure d'économie, l'huile vidangée en grande quantité peut être régénérée si elle n'est pas polluée chimiquement. Cette opération est réalisée au moyen d'un purificateur, une machine équivalente à une centrale hydraulique à circuit fermé. Une pompe fait circuler continuellement l'huile à travers trois filtres :

- crépine d'aspiration ;
- filtre de refoulement ;
- filtre de coalescence.

Le réservoir possède aussi un reniflard avec un filtre d'air.

6.2.2 Types de filtres

Un filtre est composé d'un corps et d'un élément filtrant.

■ **Filtre à débit total**

Il épure la totalité du débit. Ce filtre est équipé d'un clapet antiretour monté en parallèle et taré à 1 ou 1,5 bar.

■ **Filtre à débit proportionnel**

Le débit filtré correspond à environ 10 % du débit total. Ce filtre comporte un venturi, placé sur le circuit, qui crée une pression différentielle entre deux points et établit un débit au travers du filtre. Ce filtre peut être traversé dans les deux sens et être utilisé en circuit fermé (figure 6.8).

■ **Détection de l'encrassement**

□ **Indicateur de colmatage**

La pression nécessaire pour traverser un filtre augmente au fur et à mesure de l'encrassement de celui-ci. Un clapet est placé en dérivation de la circulation de l'huile à travers l'élément filtrant. Le déplacement du clapet, fonction de l'augmentation de pression, entraîne la rotation de l'aiguille indicateur. Lorsque

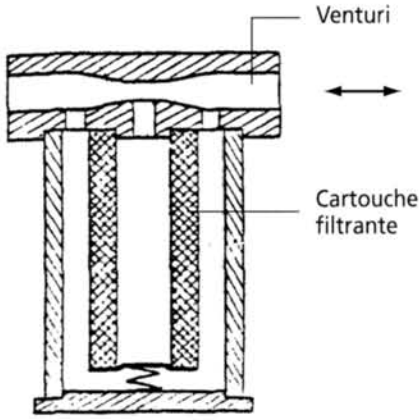


Figure 6.8 – Filtre à débit proportionnel.

l'encrassement est important, le filtre est court-circuité et le plein débit passe au travers du clapet (figure 6.9).
Le cadran d'indication se présente en trois zones :

- vert : bon ;
- orange : alerte ;
- rouge : à remplacer.

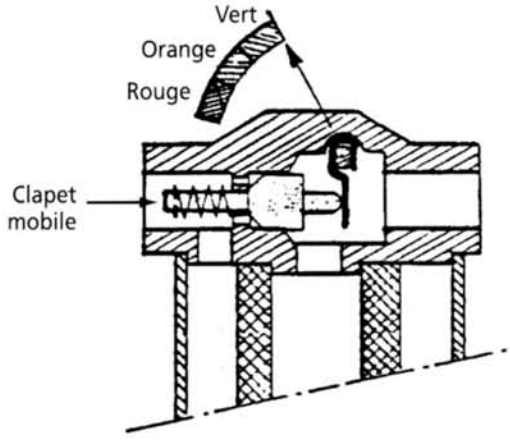


Figure 6.9 – Indicateur de colmatage.

☐ Manomètre différentiel

Il indique la différence entre les pressions d'entrée et de sortie du filtre (figure 6.10).

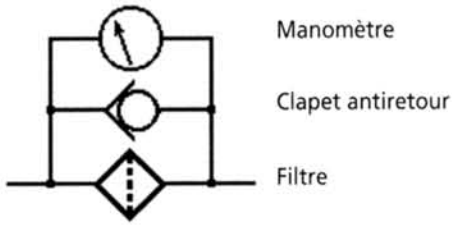


Figure 6.10 – Manomètre différentiel.

6.2.3 Entretien préventif

■ **Surveillance quotidienne**

La vérification de l'encrassement des filtres par la lecture de l'indicateur de colmatage ou du manomètre différentiel doit se faire toutes les 500 heures de fonctionnement de l'installation.

■ **Contrôle et remplacement**

Le contrôle de l'état de filtre se fera tous les 1 000 à 1 500 heures. En fonction de son état et de sa nature, l'élément filtrant peut être nettoyé ou remplacé si nécessaire.

6.3 Accumulateur hydraulique à membrane

L'accumulateur est constitué de deux calottes hémisphériques vissées l'une dans l'autre et serrant une membrane qui assure la séparation liquide/gaz. Cette membrane porte une butée métallique qui vient obturer l'orifice de sortie lorsque l'accumulateur est vide (figure 6.11).
Généralement, l'accumulateur est rempli d'azote initialement en usine par la vis de gonflage.

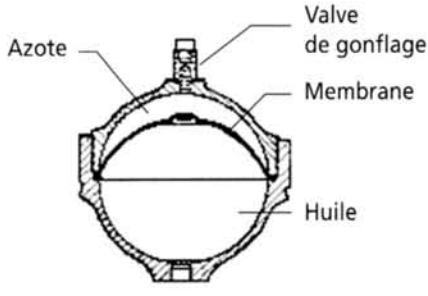


Figure 6.11 – Accumulateur à membrane.

L'accumulateur peut être :

- soit équipé d'une valve de gonflage interne qui permet la vérification ou la modification de la pression d'azote par l'utilisateur ;
- soit équipé d'une valve externe facilement manipulée par l'utilisateur, mais moins protégée contre les chocs.

Dès que le liquide pénètre dans l'accumulateur, la membrane se déplace et comprime le gaz. La membrane est choisie selon le fluide utilisé : viton, nitrile, EPR. En principe, sauf sur demande, les accumulateurs hydrauliques sont équipés d'une membrane pour l'huile hydraulique minérale.

6.3.1 Différentes versions

■ Version standard

Calottes en acier au carbone, pression maximale 400 bar, capacité de 20 cm^3 à 50 l.

■ Versions 500 bar et 630 bar

Calottes en acier à haute résistance, pressions maximales 500 ou 630 bar, capacité de 0,5 à 50 l.

■ Version protégée

Pour un fonctionnement avec des fluides moyennement corrosifs, les calottes sont recouvertes d'une protection par zingage ou nickelage chimique à 25 µm d'épaisseur.

■ Version inoxydable

Pour une utilisation avec la majorité des fluides corrosifs, pression maximale 250 bar, capacité de 0,5 à 50 l.

■ Version spéciale

Fabrication spéciale en acier inoxydable à haute résistance (pression maximale 400 bar), en titane, en duralium, etc.

6.3.2 Utilisations

■ Réserve d'énergie

Dans un circuit fermé, l'accumulateur permet de tenir immédiatement disponible une réserve d'huile sous pression. Au cours d'un cycle, dans un temps très court, une énergie importante accumulée par une pompe de faible cylindrée dans les périodes de non-consommation peut être ainsi utilisée.
Exemples : machines automatiques, dispositif de serrage pour machines-outils, freinage ou débrayage de véhicules ou d'engins de travaux publics, sécurité en cas de panne de pompe, etc.

■ **Récupération et restitution d'énergie**

L'accumulateur peut absorber une énergie fournie par la descente d'une charge et la restituer à un vérin pour assurer un mouvement mécanique.
Exemple : fermeture de trappes de déchargement des wagons amenant la houille aux centrales thermiques.

■ **Amortissement des chocs**

Sur les vérins des circuits hydrauliques : élévateurs, chariot de manutention, machines agricoles, etc.

■ **Amortissement des pulsations**

Il évite les irrégularités de pression des pompes hydrauliques, principalement des pompes à 1, 2 et 4 pistons.

■ **Transfert de puissance**

En présence de deux fluides incompatibles, par exemple, eau ou fluides divers et huile sous pression, la membrane assure la séparation sans frottements parasites.

6.3.3 Entretien préventif

■ **Vérification de pression de gonflage**

La vérification de pression d'un accumulateur se fait à l'aide d'un vérificateur gonfleur. Cet appareil possède une aiguille permettant d'ouvrir la bille de la valve de l'accumulateur et de se mettre en communication avec le manomètre. Le gonflage se fait à travers le raccord de remplissage.
Dans le cas de restitution lente :

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Pression de service}}{\text{Pression de gonflage}} \leq 4$$

Ce rapport est choisi pour que l'énergie restituée soit maximale. Dans le cas d'une restitution adiabatique, c'est-à-dire sans échange calorifique avec l'extérieur, ce rapport est de 2,3.
Pour les utilisations à température élevée et (ou) à grande fréquence, il est recommandé d'avoir un rapport compris entre 1,5 et 2.

■ **Réglementation**

- Une visite réglementaire doit avoir lieu tous les 3 à 5 ans.
- Un accumulateur doit être à nouveau contrôlé par le service des Mines après un changement de la membrane.

■ **Précautions d'emploi**

- Ne jamais dévisser la vis de gonflage si l'accumulateur ne comporte pas de valve de gonflage. On reconnaît un accumulateur équipé d'une valve de gonflage interne par la lettre V frappée sur la face d'appui de la vis.

- Toute utilisation de bouteilles d'azote additionnelles est interdite.
- Ne pas dépasser le rapport pression de travail/pression de gonflage indiqué en fonction de l'utilisation.

6.4 Accumulateur hydropneumatique à vessie

6.4.1 Principe de fonctionnement

■ Constitution

C'est une bouteille en acier dans laquelle se loge une vessie en caoutchouc synthétique. La vessie est en liaison directe avec une valve de gonflage placée sur la partie supérieure de la bouteille. Le fluide utilisé enveloppe presque complètement la vessie remplie d'azote. La communication du fluide avec le réseau se fait à travers un orifice muni d'une soupape (figure 6.12).
La vessie en version standard est fabriquée en caoutchouc à base de nitrile pour une utilisation avec des huiles minérales, huiles végétales, eaux industrielles, glycols, liquides inflammables, hydrocarbure aliphatique, butane, gasoil, kérosène, fioul, etc.

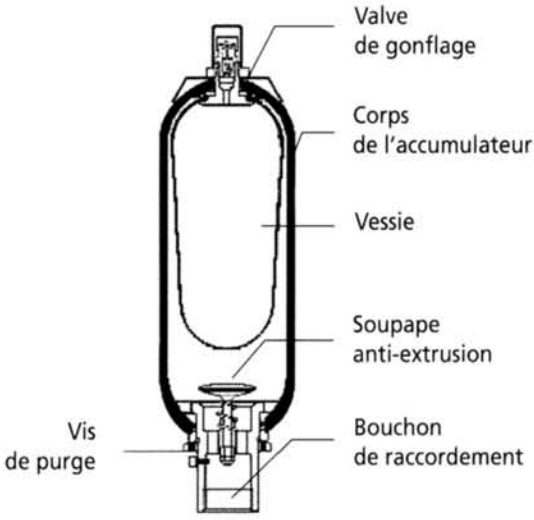


Figure 6.12 – Accumulateur à vessie.

■ Accumulation d'énergie

Détaillons la figure 6.13 :
(a) la vessie garde sa forme naturelle en absence de pression ;
(b) sous la pression de précharge P_0, la vessie s'étend et occupe tout le volume de l'accumulateur ;

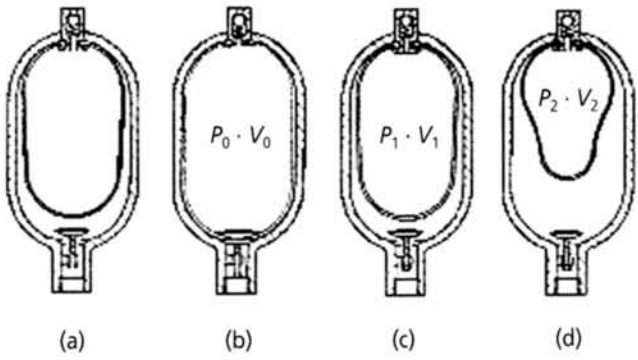


Figure 6.13 – Accumulation de fluide.

(c) lorsque la pression dans le circuit hydraulique dépasse la pression P_0, la soupape s'ouvre et la vessie se comprime jusqu'au volume V_1 ;
(d) avec une élévation de pression du fluide à P_2, on obtient une réduction de volume de la vessie à V_2.
Lorsque la soupape soulève, le fluide entre dans l'accumulateur. Ce fluide est sous pression, il y a donc une accumulation d'énergie potentielle.

6.4.2 Application

Il existe toute une gamme standard dont la capacité va de 0,13 à 200 l et la pression de 10 à 1 000 bar. On détermine un accumulateur répondant au mieux à l'utilisation en définissant :

- son volume ;
- sa pression de gonflage.

Pour les différents cas d'utilisation, nous traitons de la détermination de pression de gonflage, le paramètre utilisé pour la maintenance.
Les notations ci-dessous seront utilisées :

- P_0 : pression de gonflage ;
- T : température absolue en kelvins = t (°C) + 273 ;
- P_1 : pression minimale d'utilisation ;
- T_1 : température minimale du gaz ;
- P_2 : pression maximale d'utilisation ;
- T_2 : température maximale du gaz.

■ Réserve d'énergie

La pression de gonflage doit être déterminée de façon à éviter la vidange complète de l'accumulateur en cours de recyclage. Elle est généralement fixée à 90 % de la pression minimale en fonctionnement et en aucun cas ne devra être inférieure au 1/5 de la pression maximale du réseau.

À la température maximale de fonctionnement, la pression de gonflage est $P_0 = 0{,}9\ P_1$. En fait, le contrôle d'un accumulateur se fait à une température de référence de 20 °C. D'où :

$$P_0 \text{ à } 20°\text{C} = 0{,}9 P_1 \times \frac{293}{T_2}$$

■ Amortissement de pulsation

Selon le type de pompe utilisé, le débit est plus ou moins régulier. Le problème se pose souvent pour les pompes à pistons dont le débit total représente la somme des débits instantanés des cylindres.
Les pulsations de débit provoquent des pulsations de pression nuisibles au bon fonctionnement. L'accumulateur est là pour amortir ces pulsations.
La pression de gonflage est égale à 60 % de la pression moyenne de fonctionnement.
À 20 °C, la pression de gonflage est déterminée par la formule :

$$P_0 \text{ à } 20°\text{C} = 0{,}6 P_1 \times \frac{293}{T_2}$$

■ Absorption de dilatation thermique

Dans le cas où un circuit hydraulique fermé et sous pression est soumis à des variations de températures, l'accumulateur permet d'absorber les variations de volume correspondantes et de limiter l'élévation de pression.
La pression de gonflage à 20 °C est :

$$P_0 \text{ à } 20°\text{C} = 0{,}9 P_1 \times \frac{293}{T_1}$$

■ Transfert de puissance

Dans le cas où le volume à restituer est grand, il faut un accumulateur de grande dimension. Si le volume nécessaire V_0 dépasse la gamme standard, la solution est d'utiliser :

- un accumulateur de transfert de volume v_0 ;
- un accumulateur additionnel de volume $V_0 - v_0$.

Selon le rapport $B = \dfrac{V_0}{v_0}$, deux taux de gonflage sont généralement retenus :

- pour $\frac{1}{3} V_0 < v_0 \leq \frac{1}{2} V_0 \Rightarrow 0{,}95$
- pour $\frac{1}{4} V_0 < v_0 \leq \frac{1}{3} V_0 \Rightarrow 0{,}97$

Les pressions de gonflage sont respectivement :

$$P_0 \text{ à } 20°\text{C} = 0{,}95 P_1 \times \frac{293}{T_2}$$

$$P_0 \text{ à } 20°\text{C} = 0{,}97 P_1 \times \frac{293}{T_2}$$

■ **Anti-coups de bélier**

Le coup de bélier est un phénomène d'élévation rapide de pression qui se produit dans une tuyauterie lors de la fermeture d'une vanne ou d'un distributeur. Ce phénomène résulte d'une coupure brutale de la veine de fluide produisant une onde de choc.
Pour atténuer cet effet, on peut chanfreiner les tiroirs des distributeurs pour ralentir leurs déplacements, mais ce n'est pas toujours suffisant. La solution est de placer un petit accumulateur le plus près possible de l'origine des coups de bélier pour absorber l'onde de choc.
Comme en réserve d'énergie, la pression de gonflage est :

$$P_0 = 0{,}9 P_1$$

6.4.3 Entretien préventif

■ **Contrôle de pression de gonflage**

Selon les conditions d'exploitation, la périodicité de contrôle varie entre 1 000 et 1 500 heures.

■ **Visite réglementaire**

Un accumulateur est un appareil soumis à la réglementation, la visite doit se faire tous les trois ans. Il doit être à nouveau contrôlé par le service des Mines après un remplacement de la vessie.

6.5 Accumulateur à piston

6.5.1 Construction

L'accumulateur à piston se compose (figure 6.14) :

- d'un corps cylindrique contenant un corps flottant qui sépare le gaz du fluide ;
- de deux couvercles munis de bagues filetées et de joints d'étanchéité :
  - le couvercle côté gaz est équipé d'un système de remplissage et d'un clapet antiretour ;
  - le couvercle côté huile est en communication avec le circuit d'utilisation.

L'accumulateur peut être équipé :

- soit d'un dispositif de contrôle de position du piston en fin de course ;

- soit d'un dispositif de commutation ;
- soit d'un système électronique d'asservissement de position de piston au capteur d'ultrason.

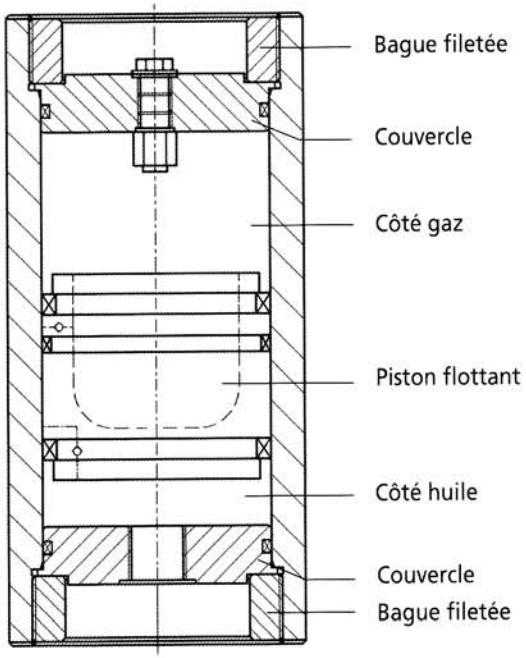


Figure 6.14 – Accumulateur à piston.

■ Caractéristiques

Gamme standard :

- volume d'huile de 0,5 à 1 500 l,
- pression d'utilisation jusqu'à 800 bar,
- volume de gaz de 0,3 à 125 l,
- diamètre du piston de 100 à 800 mm.

Fluides hydrauliques : huile minérale, huile hydraulique, huile difficilement inflammable, eau.
Les joints en viton sont bien adaptés aux fluides difficilement inflammables.

6.5.2 Applications

■ Fonctionnalités

- Accumulateur d'énergie : en service avec charge intermittente et restitution d'énergie.
- Réserve d'énergie : pour des réactions immédiates et pour des fonctions de sécurité et d'urgence.

- Maintien de pression : en cas de fuite, de dilatation thermique, de commutation du système, de consommation variable dans le système hydraulique.
- Amortisseur de variations.
- Absorbeur de chocs.
- Élément de ressort.

■ **Avantages techniques**

On emploie les accumulateurs à piston lorsque les accumulateurs à vessie atteignent leur limite d'utilisation.

- Agressivité de certains fluides où la vessie ne peut être employée.
- Températures trop élevées pour l'utilisation de la vessie.
- Grands volumes à emmagasiner ou à restituer.
- Débit de restitution important.
- Besoin de connaître avec précision le volume contenu dans l'accumulateur.

Le fonctionnement avec des bouteilles de gaz additionnelles permet d'obtenir un volume utile important à faible chute de pression.

■ **Domaines d'application**

□ **Interrupteur haute tension**

Dans les conditions extrêmes de températures et de conditions météorologiques, l'accumulateur à piston est employé pour fournir de l'énergie aux interrupteurs haute tension dont les connections se font en quelques millisecondes.

□ **Accumulation d'énergie de freinage**

L'énergie de freinage accumulée dans un accumulateur léger permet aux véhicules lourds d'accélérer au démarrage jusqu'à environ 50 km/h.

□ **Presse hydraulique**

Des flux de volume de 2 000 à 3 000 l à la minute doivent être comprimés à 300 bar en un temps très court. Des accumulateurs à piston permettent une montée rapide en pression et une compensation lors de la détente.

□ **Hydraulique maritime**

L'énergie fournie par l'accumulateur à piston est utilisée pour déplacer les hélices des navires et pour condamner les portes étanches en cas d'incendie.

□ **Installation de coulée continue**

En cas de coupure d'énergie, l'accumulateur à piston permet de finir les opérations de coulée.

6.5.3 Maintenance préventive

■ **Contrôle de fonctionnement**

L'étanchéité interne est assurée par les trois joints toriques du piston dont l'usure se traduit par une baisse de l'efficacité : vitesse de réaction et énergie fournie. L'usure des joints des couvercles entraînera des fuites d'huile ou de gaz.
Un contrôle annuel de bon fonctionnement est suffisant.

■ **Contrôle réglementaire**

Le contrôle réglementaire doit se faire tous les trois ans. La pression d'essai est de 1,3 fois la pression d'utilisation et de 1,5 fois dans un cas particulier.

6.6 Vérins hydrauliques

Un vérin hydraulique est composé :

– d'un corps cylindrique alimenté par un réseau hydraulique ;
– d'un ensemble piston + tige qui coulisse linéairement à l'intérieur du cylindre.

Selon l'action de la pression qui exerce sur une seule face ou alternativement sur les deux faces du piston, le vérin fonctionne en simple effet ou double effet.

6.6.1 Types de vérins

Les deux modes de fonctionnement font distinguer les vérins en deux types.

■ **Vérins simple effet**

□ **Vérin à piston + tige**

Selon que le vérin travaille en tirant ou en poussant, l'arrivée de l'huile en pression se fait sur la face avant ou arrière du piston. L'autre chambre du vérin est en communication avec l'atmosphère au travers d'un filtre feutre ou d'une cartouche en bronze fritté.

□ **Vérin à piston plongeur**

Le piston plongeur monte verticalement avec une faible course. Le rappel en position de repos est assuré par son propre poids ou par l'action d'un ressort.

□ **Vérin télescopique**

Plusieurs pistons s'emboîtent les uns dans les autres (3, 4 ou 5). Pour faire sortir la tige, le piston de plus gros diamètre sort le premier. Ensuite le deuxième piston sort dès que le premier arrive en fin de course et ainsi de suite jusqu'au plus petit. Le fonctionnement est inverse pour faire rentrer la tige. Ce type de vérin permet une course importante avec un encombrement réduit.

■ **Vérins double effet**

□ **Vérin à piston + tige**

La pression s'exerce sur les deux faces du piston pour créer les mouvements d'entrée et de sortie de l'ensemble piston + tige. La vitesse d'entrée est légèrement plus faible que celle de la sortie en raison de la disparité entre la force de rétraction et la force d'extension. Les deux forces sont créées par la même pression exercée sur deux sections différentes.

$$F_{\text{rétraction}} = P \cdot s < F_{\text{extension}} = P \cdot S$$

Il existe un vérin à double effet à contre-tige qui permet d'obtenir un équilibre de force et un vérin à tige traversant permettant un double usage.

□ **Vérin différentiel**

Il s'agit d'un vérin à double effet dont la section du piston est deux fois plus grande que celle de la tige. La force du vérin est normalement deux fois plus élevée en poussée qu'en traction pour une même pression d'alimentation.

□ **Vérin de presse à piston plongeur**

C'est un vérin de grande dimension à trois sections actives. Le fonctionnement est séquencé par une alimentation régulée : avance rapide, avance lente, retour rapide.

6.6.2 Constitution

■ **Corps**

□ **Cylindre**

C'est un tube en acier mi-dur étiré sans soudure. La surface intérieure du cylindre est rodée et soigneusement polie afin d'obtenir un bon coulissement et une bonne étanchéité du piston.

□ **Culasse avant**

Elle assure l'étanchéité, le guidage de la tige et l'alimentation de la chambre avant. Cette culasse porte :

- une bague de guidage avec des joints chevrons d'étanchéité de tige ;
- un bouchon avec joint racleur.

La longueur de guidage est de 1 à 1,5 fois le diamètre de la tige.

□ **Culasse arrière**

Elle assure l'alimentation de la chambre arrière du vérin. Ces deux culasses possèdent des orifices de purge afin de chasser l'air du vérin lors de la mise en service.

■ **Piston**

Le piston est muni de gorges dans lesquelles sont logés les joints assurant l'étanchéité dans les deux sens. L'usage des différents types de joints permet d'avoir l'étanchéité entre l'alésage et le piston sous certaines conditions de pression et de vitesse.

□ **Joint torique**

- Pression jusqu'à 100 bar.
- Vitesse limitée à 0,2 m/s.
- Il faut équiper des bagues anti-extrusion pour empêcher le fluage.

□ **Joint à lèvre**

- Chaque joint assure l'étanchéité dans un seul sens.
- Pression élevée (jusqu'à 400 bar).
- Vitesse élevée.

□ **Joint en U**

- Nécessité d'avoir la bague d'appui.
- Bonne étanchéité en basse pression par sa souplesse.
- Haute pression : 400 bar.
- Vitesse : 4 m/s.

□ **Joint à lèvre en C**

- Bonne étanchéité en basse pression.
- Haute pression : 400 bar.

□ **Joint chevron**

- Nécessité des bagues d'appui.
- Grande résistance à l'usure.
- Vitesse et pression élevées.

■ **Tige**

La tige est en acier chromé dur, rectifié et rodé. L'extrémité de la tige peut être lisse, taraudé ou porter une chape de fixation avec rotule.

6.6.3 Réglages

■ **Réglage d'amortissement**

Lorsque la masse à déplacer et la vitesse sont importantes, il peut y avoir des chocs destructeurs en fin de course. Pour éviter ces chocs, il est prudent de prévoir un système d'amortissement. L'amortissement peut être interne ou externe au vérin.

□ **Amortissement interne**

Pour un amortissement interne, la tige est équipée de deux pistons amortisseurs situés de part et d'autre du piston principal. L'orifice central servira de logement au piston amortisseur (figure 6.15).
Durant le déplacement, l'huile chassée par le piston principal s'échappe par l'orifice central. Juste avant la fin de course, l'orifice principal d'échappement est obturé par l'arrivée du piston amortisseur. Le piston principal comprime l'huile dans l'espace annulaire restant et l'oblige à s'échapper au travers d'un second orifice calibré. L'amortissement est réglé en faisant varier la section de l'orifice calibré à l'aide d'une vis pointeau.
Au début de la course en sens inverse, le clapet de démarrage laisse passer la pression d'alimentation sur toute la section du piston principal.

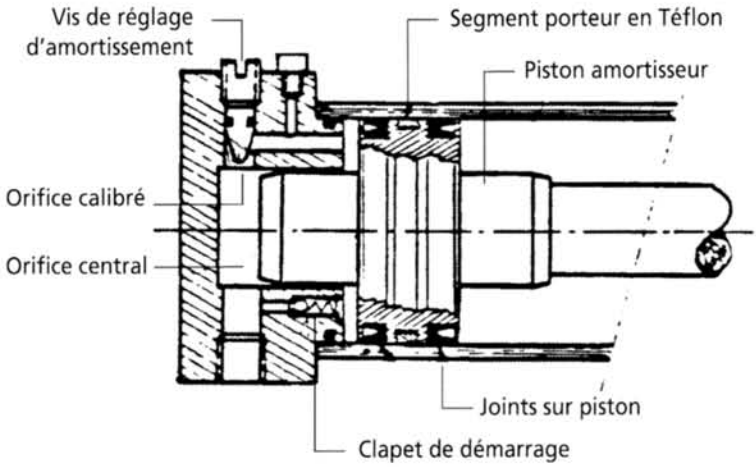


Figure 6.15 – Vérin avec amortissement interne.

□ Amortissement externe

L'amortissement peut être réalisé en externe par l'intégration d'une soupape de décélération au circuit d'alimentation. L'amortissement supprime les chocs sur les culasses.

■ Réglage des vitesses

L'objectif de réglage est d'obtenir la stabilité de la vitesse. Le réglage se fait sur le régulateur de débit (figure 6.16).

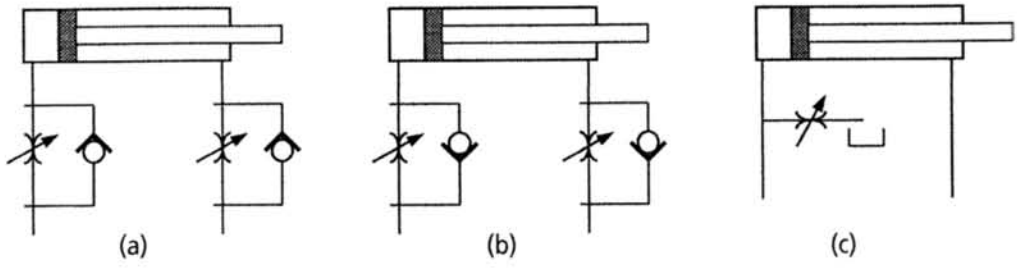


Figure 6.16 – Réglages de vitesse (a) sur l'entrée d'alimentation, (b) sur la sortie d'alimentation et (c) par soustraction.

□ Réglage sur l'entrée

Ce montage n'est utilisable que si la charge freine continuellement le déplacement du piston. Pour une faible vitesse de sortie, on a moins de difficulté à réguler le débit en agissant sur l'entrée.

□ **Réglage en sortie**

Si la charge peut devenir motrice, il faut la freiner en maintenant un matelas d'huile entre le piston et le régulateur de débit. Ce montage permet une régulation stable, mais les basses vitesses sont plus délicates à obtenir. En effet pour une même vitesse de piston, le débit de sortie est plus faible que le débit d'entrée.

□ **Réglage par soustraction**

Ce montage n'est valable que si le vérin est chargé et que la charge ne peut pas devenir motrice. On soustrait le débit excédentaire pour la vitesse recherchée. La précision est acceptable.

6.6.4 Règles de précaution

■ **Montage**

- Il est déconseillé de tourner l'ensemble piston + tige par rapport au corps du vérin afin d'éviter la détérioration des garnitures.
- Placer les orifices de purge à la partie supérieure du vérin.
- Pour un vérin horizontal, placer les conduites d'alimentation à la partie supérieure, ce qui facilite une purge naturelle du vérin.
- S'il y a un drain de cartouche, le raccorder à la conduite de drain.
- Veiller à ce qu'il n'y ait pas de frottement sur les flexibles d'alimentation.
- Réserver une bonne accessibilité aux réglages d'amortissement et de vitesse.
- Dans une ambiance polluée, protéger la tige contre toute projection.
- Veiller à ce qu'il n'y ait pas de contrainte radiale sur la tige du vérin. Utiliser une rotule sur la chape de fixation. S'il y a un guidage externe, celui-ci doit être dans l'axe du vérin.

■ **Mise en service**

À la mise en service, les deux chambres d'un vérin doivent être remplies d'huile et purgées d'air. Répéter les mouvements jusqu'à ce que l'huile ne soit plus émulsionnée.

6.6.5 Entretien préventif

■ **Surveillance quotidienne**

Vérifier :

- l'absence de fuite au joint racleur, aux raccords des flexibles d'alimentation ;
- l'état des flexibles ;
- l'absence de choc en fin de course – régler l'amortissement si nécessaire ;
- la vitesse en mesurant le temps de déplacement au chronomètre pour apprécier l'usure interne et l'état des garnitures ;
- la synchronisation pour un montage à plusieurs vérins.

Nettoyer l'ensemble et les orifices de purge.

■ **Entretien 4 000 heures**

Contrôler :

- l'état de surface de la tige ;
- l'absence de flambage de la tige ;
- l'état du joint racleur ;
- le serrage des fixations.

7 • ÉLECTRICITÉ

7.1 Transformateur de puissance

Il est indispensable d'obtenir une puissance électrique suffisante pour les besoins industriels. Pour cela il est nécessaire de se raccorder à une ligne de puissance convenable. On intercale ensuite un poste de transformation entre celle-ci et la distribution.

7.1.1 Transformateur sec

- Trois ensembles de bobinages concentriques comportent chacun un enroulement haute tension et un enroulement basse tension.
- Un circuit magnétique est composé par un assemblage de tôles en forme de colonne en E couché et une culasse supérieure.
- Selon la puissance du transformateur, le refroidissement se fait par l'air naturel ou ventilation forcée.

7.1.2 Transformateur immergé

Un transformateur immergé est constitué principalement d'une partie active et de liquide diélectrique.

■ Partie active

La partie active se compose :

- de trois ensembles de bobinages concentriques (un par phase) dans lesquels les enroulements haute tension et basse tension sont séparés par des isolateurs et des lames d'huiles ;
- d'un circuit magnétique en tôles à cristaux orientés avec joints enchevêtrés. Les tôles High B permettent d'obtenir une haute perméabilité, donc une meilleure aptitude du matériau à propager le flux.

■ Liquide diélectrique

La partie active du transformateur est immergée dans un liquide isolant qui remplit deux rôles principaux :

- par circulation naturelle ou forcée du fluide, refroidir efficacement les enroule-

■ Chanfreinage des lames

Après rectification d'un collecteur, il faut chanfreiner les arêtes des lames. Le chanfrein est habituellement à 45°, parfois à 60° et sa dimension est de l'ordre du 1/20 au 1/10 de l'épaisseur de la lame. Le fraisage des micas se fait à l'aide de fraises ou manuellement avec une lame de scie. Leur retrait doit être d'environ 1 à 1,5 mm (figure 7.10).

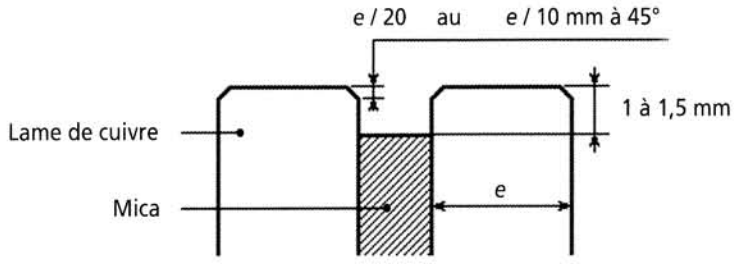


Figure 7.10 – Lames du collecteur.

■ Contrôle après rectification

□ Contrôle circonférentiel

Le nettoyage et le contrôle de faux rond au comparateur seront nécessaires pour assurer le résultat : la déformation circonférentielle ne doit pas excéder 0,03 mm.

□ Contrôle de rugosité

On utilise pour cette opération un appareil de mesure d'état de surface équipé d'un système de palpage piézo-électrique.
Deux valeurs limites sont essentielles :

- éviter les rugosités inférieures à 0,2 µm ;
- les rugosités supérieures à 2 µm sont à proscrire.

Valeurs recommandées :

- de 0,9 à 1,8 µm pour les collecteurs des machines industrielles de fortes puissances ;
- de 0,5 à 1 µm pour les collecteurs de machine d'une puissance inférieure à 1 kW ;
- de 0,75 à 1,25 µm pour les bagues d'acier ou de bronze.

7.3.9 Mesures

■ Mesure d'isolement

La mesure d'isolement des enroulements se fait entre toutes les bornes de la masse et avec un ohmmètre à magnéto ou un ohmmètre électronique.

La valeur normale est de 5 000 Ω/V de la tension d'alimentation.
Si les résistances d'isolement de l'inducteur et de l'induit baissent jusqu'à des valeurs inférieures ou égales à 3 000 Ω/V, vérifier tout d'abord que cette baisse ne se situe pas au niveau du socle de borne ou des supports de porte-balais. Sinon, procéder au séchage des bobinages.
Par précaution, on pratique cette mesure à la première mise en fonctionnement et après un arrêt de longue durée.

■ Mesure d'intensité

Si le moteur est utilisé en permanence à une valeur inférieure aux deux tiers du courant indiqué sur la plaque signalétique, consulter le constructeur pour les mesures nécessaires à prendre car, dans ce cas, la patine ne se forme pas ou est suffisante, ce qui peut entraîner une usure accélérée du collecteur et des balais.
Un suivi des valeurs d'intensité du moteur peut nous renseigner sur l'augmentation de consommation qui peut provenir soit du dysfonctionnement du moteur lui-même, soit de celui de la machine entraînée.

■ Mesure des vibrations

La pratique de mesure des vibrations sur les moteurs est sélective. Économiquement on pourra choisir les machines critiques et de grande puissance.

7.4 Moteur asynchrone triphasé

7.4.1 Principe

■ Champs tournants produits en triphasé

Trois bobines identiques, dont les axes font entre eux des angles de 120°, sont alimentées par des courants triphasés (figure 7.11).

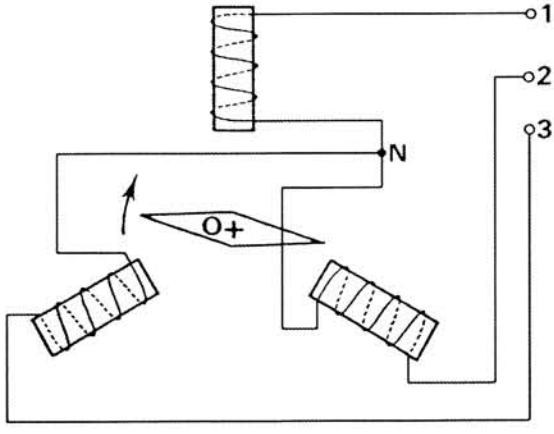


Figure 7.11 – Champ tournant en triphasé.

Tableau 7.5 – Périodicité d'entretien préventif.

Opération	Périodicité (heures)	Marche/Arrêt	Puissance moteur		
			P	M	G
Vérification quotidienne					
Aspect extérieur	500	M	X	X	X
Nettoyage interne	1 500	A	X	X	X
Ralentisseur	500	M	—	—	X
Crachements aux balais	500	M	—	—	X
Système de refroidissement à air	500	M	—	X	X
Système de refroidissement à eau	6 000	A	—	—	X
Lubrification des paliers	Selon la taille, de 150 à 500 heures (voir roulement)	M	X	X	X
Contrôle des balais					
État des balais	1 500	A	X	X	X
État des porte-balais	1 500	A	X	X	X
Usure des balais	1 500	A	X	X	X
Contrôle du collecteur					
État de surface	3 000	A	—	—	X
Faux rond	6 000	A	—	—	X
Mesures					
Isolement	6 000	A	—	—	X
Intensité	3 000	M	—	X	X
Vibrations	3 000	M	—	—	X

– Une aiguille aimantée placée en O, l'intersection des axes des trois bobines, se met à tourner spontanément et atteint une fréquence de rotation égale à la fréquence de l'alimentation. C'est le principe du moteur synchrone.

– Un disque métallique, placé à cet endroit, tourne aussi de lui-même, dans le même sens que l'aiguille mais à vitesse plus réduite. C'est le principe du moteur asynchrone.

Les champs tournants créés par ces trois bobines sont équivalents aux champs créés par un aimant en forme d'U en rotation autour de son axe de symétrie.

■ **Moteur asynchrone triphasé**

La partie fixe, appelée stator, est composée de trois groupes de bobines qui sont alimentées par du courant triphasé.
La partie tournante, appelée rotor, est le siège du courant induit. Selon la constitution du rotor, on distingue deux principaux types :

– moteur triphasé à cage,
– moteur triphasé à rotor bobiné.

7.4.2 Moteur asynchrone triphasé à cage

■ **Stator ou inducteur**

Le stator est constitué par des tôles isolées au papier Japon ou au vernis, assemblées et montées sur la carcasse du moteur. Les bobines du stator sont disposées de telle façon qu'elles constituent un ensemble triphasé à 2, 4, 6 ou 8 pôles ou plus.
Les six connexions sont réunies aux six bornes de la boîte de connexion. La disposition des bornes, normalisée, doit permettre le montage des phases en étoile ou en triangle par simple déplacement des trois barrettes conductrices.

■ **Rotor ou induit**

Le rotor à cage d'écureuil est constitué de deux couronnes en cuivre réunies par des barres également en cuivre. L'intérieur de la cage ainsi formée est rempli de disques de tôles isolés.
L'empilage de tôles, jouant le rôle d'un circuit magnétique, est destiné à canaliser le flux dans la cage à l'intérieur de laquelle se produisent les courants induits (figure 7.12).
Dans les moteurs de grande puissance, les barres de la cage sont vissées et non soudées aux couronnes. Dans de tels moteurs, l'intensité au démarrage est très importante, la chaleur dégagée risque de faire fondre l'étain de soudure.
Pour des moteurs de petite puissance, les cages d'écureuil sont construites par moulage d'aluminium.

■ **Circuits de démarrage**

□ **Démarrage direct**

Le moteur est branché directement sous tension par simple manœuvre d'un interrupteur. Le moteur démarre sur ces caractéristiques naturelles avec une

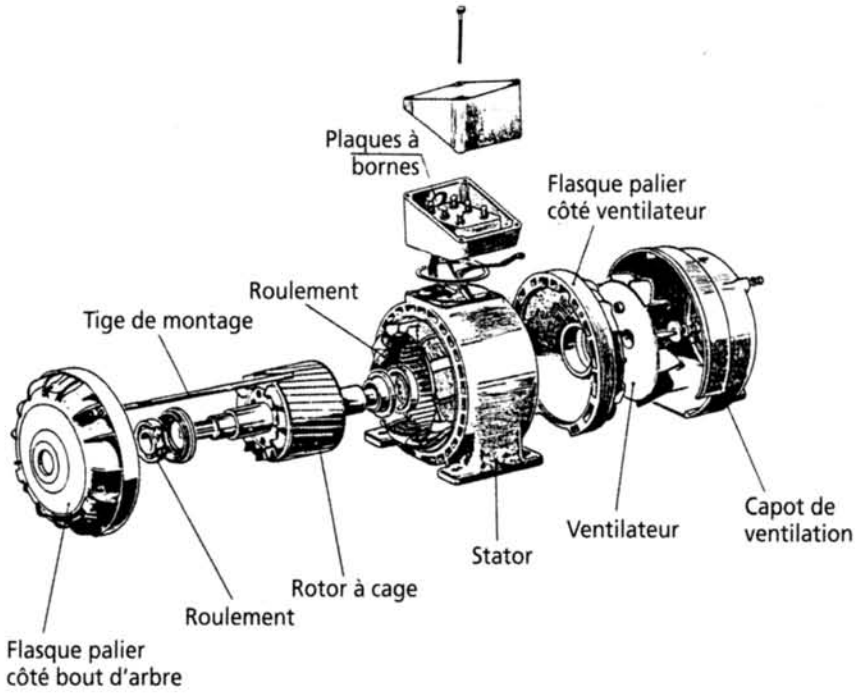


Figure 7.12 – Moteur asynchrone triphasé à cage.

très forte pointe d'intensité qui peut atteindre cinq à six fois l'intensité nominale. De ce fait, la puissance du moteur à simple cage à démarrage direct est limitée à 25 kW.
Un grand couple de démarrage permet de démarrer rapidement une machine en pleine charge.

□ Démarrage par couplage étoile-triangle

La manœuvre est faite au moyen d'un inverseur tripolaire ou d'un coupleur étoile-triangle. Le démarrage s'effectue en deux temps :

- en un premier temps, les bobinages sont couplés en étoile, l'appel de courant et le couple de démarrage sont trois fois plus faibles que pour le démarrage direct ;
- lorsque le moteur est lancé, le couplage est basculé en triangle.

□ Démarrage par résistances statoriques

On démarre le moteur sous tension réduite en insérant une résistance dans chaque phase du stator. Ensuite ces résistances sont court-circuitées une à une, lorsque le moteur atteint sa vitesse normale.

Il n'y a pas d'interruption de courant comme dans le cas du démarrage étoile-triangle. Ce système est utilisé lorsque le couple de démarrage est bien connu, car il est possible d'adapter les valeurs de résistance.

□ **Démarrage par autotransformateur**

Le démarrage s'effectue par un autotransformateur branché directement sur le réseau. L'autotransformateur comprend plusieurs prises médianes permettant d'adapter la tension et l'intensité au couple nécessaire au démarrage (figure 7.13).
Ce système coûteux n'est utilisé que pour le démarrage des gros moteurs.

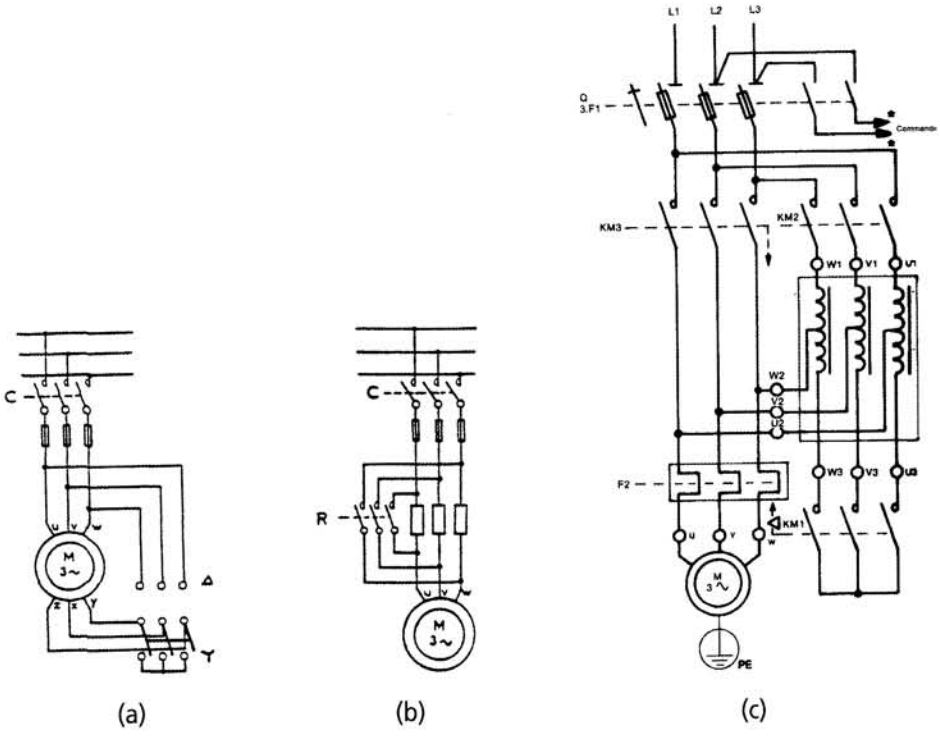


Figure 7.13 – Démarrage (a) par couplage étoile-triangle, (b) par résistances statoriques et (c) par autotransformateur.

7.4.3 Moteur asynchrone triphasé à rotor bobine

■ **Stator**

La constitution de stator du moteur asynchrone à rotor bobiné est identique à celle du stator du moteur asynchrone à cage.

■ Rotor

Il est constitué par un empilage de disques en tôle de silicium, isolés et serrés entre deux plateaux de fonte. Les enroulements du bobinage rotorique sont logés dans les encoches des disques (figure 7.14).

Ces trois enroulements sont montés en étoile dont le point neutre se trouve à l'intérieur du bobinage et les trois entrées sont reliées à trois bagues en bronze solidaires de l'arbre.

Les bagues permettent, par l'intermédiaire de trois balais, d'insérer des résistances de démarrage en série avec les enroulements.

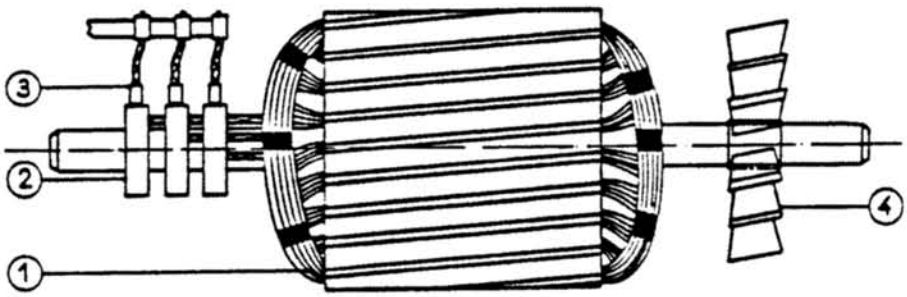


Figure 7.14 – Rotor bobiné. 1. Bobinage. 2. Bagues. 3. Balais. 4. Ventilateur.

■ Circuits de démarrage

□ Démarrage par résistances rotoriques

Les résistances de démarrage sont montées en étoile sur les enroulements du rotor à travers les bagues-balais. La résistance par phase est environ 15 fois celle du bobinage.

La mise en route du moteur commence par la fermeture d'alimentation du stator, puis on manipule le démarreur pour éliminer progressivement les résistances.

On ne doit jamais oublier de ramener le rhéostat à sa position de démarrage lorsque le moteur est arrêté.

□ Démarrage par rhéostat automatique

Les résistances de démarrage sont montées sur un plateau solidaire du rotor et les contacteurs temporisés assurent l'élimination progressive à des vitesses bien déterminées. Le démarrage se fait en trois étapes. Le contacteur petite vitesse se ferme le premier pour éliminer le premier groupe de résistances. Puis le contacteur vitesse moyenne élimine le second groupe de résistances. Enfin le contacteur grande vitesse met le rotor en court-circuit.

□ **Démarrage par couplage des bobines du rotor**

Chaque phase du rotor comprend deux enroulements en opposition au démarrage. Un coupleur centrifuge les met en parallèle à une certaine vitesse. Le moteur démarre par simple fermeture de contacteur.

7.4.4 Moteur asynchrone triphasé à double cage

C'est un moteur dont le rotor est composé de deux cages concentriques. Les barres de la cage extérieure sont en maillechort, métal très résistant, et celles de la cage intérieure sont en cuivre, métal très conducteur. Au démarrage, seule la cage externe est le siège de courant. La deuxième cage entre en action lorsque la vitesse augmente.
Cette technologie permet un démarrage automatique sans l'aide de coupleur.

7.4.5 Caractéristiques

■ **Caractéristiques mécaniques**

La vitesse à vide d'un moteur asynchrone est donnée par la formule :

$$V = f \times \frac{120}{p}$$

avec f la fréquence du courant d'alimentation et p le nombre de pôles.
Pour $f = 50$, on aura :

- pour 2 pôles, $V = 3\,000$ tr/min
- pour 4 pôles, $V = 1\,500$ tr/min
- pour 6 pôles, $V = 1\,000$ tr/min
- pour 8 pôles, $V = 750$ tr/min

■ **Caractéristiques électriques**

La section du câble d'alimentation doit être choisie pour I_n (intensité nominale) moteur + $I_d/3$ (I_d intensité au démarrage) et la chute de tension ΔU doit être inférieure à 5 %.

■ **Caractéristiques de démarrage**

En fonctionnement normal, les valeurs du couple et de l'intensité de démarrage des moteurs asynchrones sont données par le tableau 7.6.

7.4.6 Commande et protections

■ **Commande par disjoncteur**

La longévité mécanique des disjoncteurs est limitée à environ 100 000 manœuvres pour une cadence réduite de 40/h (figure 7.15).

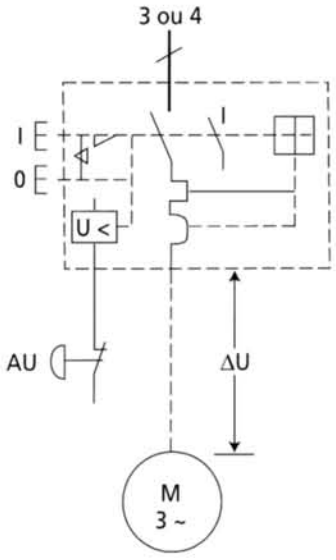


Figure 7.15 – Commande par disjoncteur.
I_n : intensité nominale. I_{cc} : intensité de court-circuit. I_d : intensité de démarrage.
PdC : protection de courant. AU : arrêt d'urgence.

Tableau 7.6 – Couple et intensité de démarrage.

Caractéristiques de démarrage	Moteur simple cage	Moteur double cage		Moteur à bagues
		Démarrage direct	Démarrage étoile-triangle	
Couple C_d (kg · m)	1,3 à 1,6	1,8 à 2,0	0,6 à 0,7	1,1 à 1,4
Intensité I_d (A)	4 à 5	3,0 à 3,5	1,35 à 1,8	1,2 à 1,5

☐ Déclencheurs thermiques

Réglables sur le courant nominal I_n du moteur, à compensation automatique de la température ambiante, ils protègent le moteur et la ligne contre les surcharges. La résistance des thermiques faibles intensités limite I_{cc}, le disjoncteur-moteur est auto-protégé pour ces calibres, son PdC (protection de courant) est illimité.

☐ Déclencheurs magnétiques

Ils assurent la protection contre les courts-circuits en laissant passer la pointe d'intensité de démarrage (6 à 12 I_n supérieur à I_d). Si I_{cc} présumé est supérieur au PdC du disjoncteur, des fusibles ou des limiteurs doivent être installés en amont.

☐ Déclencheurs à émission ou à minimum de tension

Ce déclencheur peut être ajouté pour obtenir la coupure de sécurité par commande à distance d'un arrêt d'urgence.

□ Ligne

La section de la ligne d'alimentation doit être choisie pour I_n moteur + $I_d/3$ et la chute de tension U doit être inférieure à 5 % (distribution publique).

■ Commandes par contacteur

En service normal, les contacteurs sont capables de fonctionner jusqu'à 1 à 5 millions de manœuvres avec une cadence de 300 à 2 000 manœuvres par heure (figure 7.16).

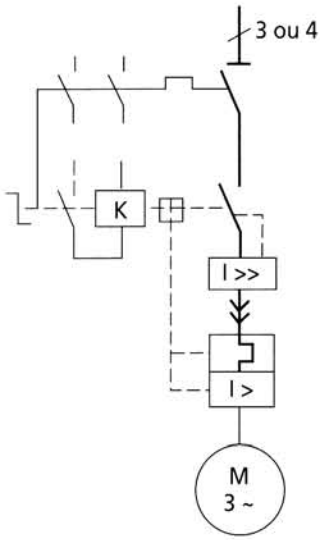


Figure 7.16 – Commande par contacteurs.

□ Sectionneur fusibles-discontacteur

Les fusibles aM, dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC), ne peuvent réaliser la coupure omnipolaire.

□ Disjoncteur-discontacteur

Les disjoncteurs à magnétique seul réalisent la coupure omnipolaire des courants de court-circuit PdC du disjoncteur.

□ Sectionneur-contacteur-disjoncteur

Le sectionneur télémécanique type Intégral 32 intègre en un seul appareil les fonctions nécessaires aux circuits terminaux. Les mêmes pôles assurent les fonctions disjoncteur et contacteur.

- Les relais I >> provoquent, par percuteur, l'ouverture rapide des pôles (1,7 ms) à effet limiteur de 72 à 12 kA de crête. PdC = 50 kA.
- Les relais I > protègent contre les fortes surintensités.

☐ Protection thermique directe par sondes PTC

Ce dispositif à sécurité positive s'emploie en complément lorsqu'un moteur présente un risque d'échauffement par la température ambiante, un défaut de son système de refroidissement, ou des démarrages trop fréquents. Le relais K_0 du dispositif est mis au repos pour une augmentation rapide de la résistance R des trois sondes quand leur température nominale de fonctionnement augmente de quelques degrés ou si leur ligne est coupée ou court-circuitée (figure 7.17).

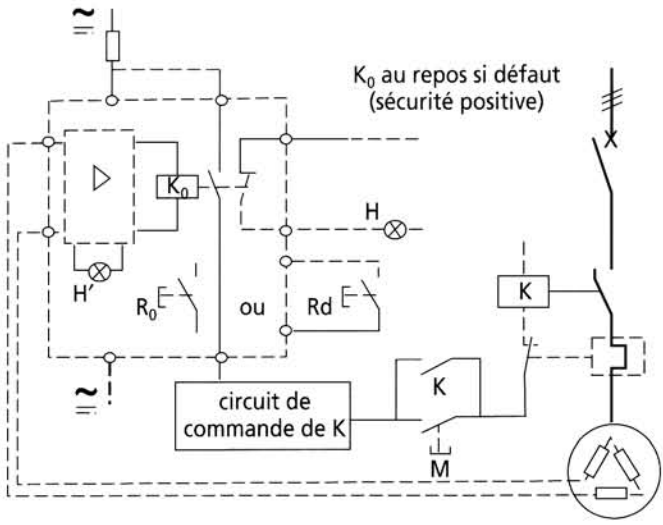


Figure 7.17 – Les trois sondes thermiques sont placées au cœur des trois enroulements.

7.4.7 Surveillance quotidienne

■ Aspect extérieur

Vérifier que :

- le moteur et son environnement sont propres (absence d'encrassement de poussière, de graisse ou de projection de certains produits) ;
- les câbles d'alimentation et de prise de terre sont en bon état, bien fixés et bien protégés ;
- la boîte à bornes est bien étanche ;
- il n'y a pas de traces d'oxydation sur les cosses de connexion électrique ;
- la grille de ventilation ou le passage de l'air ne sont pas obturés.

■ Graissage des paliers

Le graissage des paliers se fait pendant que le moteur est en marche. La quantité et les intervalles de graissage sont fonction de la taille des roulements et de la vitesse de rotation.

7.4.8 Entretien préventif

■ **Entretien du moteur**

□ **Mesure d'intensité**

Un suivi des valeurs d'intensité du moteur peut nous renseigner sur l'augmentation de consommation qui peut provenir soit du dysfonctionnement du moteur lui-même, soit de celui de la machine entraînée.

■ **Entretien supplémentaire du moteur à rotor bobiné**

□ **Nettoyage interne**

Les balais étant démontés, un soufflage énergique à l'air comprimé sec et déshuilé se fait sur le stator et le rotor, dans les deux sens... Le tuyau de soufflet doit être muni d'un embout en caoutchouc. La pression maximale de l'air de soufflage est de 2 bar.

Si les bagues sont graisseuses, le nettoyage final se fait avec un chiffon non pelucheux et imbibé d'un solvant (benzène, Gamlen 2G/3...).

□ **Contrôle des balais**

Vérifier que :

- les arêtes des balais sont intactes, sans brûlures, ni écaillages ;
- les faces des balais ne portent ni marques de vibrations, ni brûlures ;
- les câbles souples en cuivre et les câbles témoin d'usure ne sont ni oxydés, ni brûlés, ni effilochés.

7.5 Moteur frein

C'est un moteur normal de série équipé d'un système de freinage incorporé. Selon les constructeurs, les conceptions du système sont différentes.

7.5.1 Types de freins

■ **Système breveté Japy**

Le dispositif est constitué principalement par deux bobines alimentées en courant alternatif, un disque de freinage et des ressorts de compression.

- À la mise sous tension, l'électro-aimant attire son armature mobile, ce qui a pour effet de libérer le disque de freinage et de permettre la rotation de l'arbre moteur.
- À la coupure du courant, les ressorts de compression agissent directement sur l'armature mobile qui vient serrer le disque de freinage, solidaire de l'arbre moteur.

■ **Système frein Leroy Somer**

C'est un système modulaire ou intégré de freinage à commande électromagnétique dont la bobine est alimentée :

- soit par une source de courant continu de 20 V ;
- soit par une source de courant obtenu par redressement à double alternance d'une tension alternative de 24 V.

Le freinage se fait par rupture de courant.
Pour un moteur à courant alternatif, il est possible de prélever une partie de la tension de l'un des enroulements statoriques. Dans ce cas, le bloc cellule redresseur est incorporé dans la boîte à bornes.

■ Système frein Sew-Usocome

C'est aussi un système de frein électromagnétique dont la bobine est alimentée par le redressement à simple alternance de la tension du réseau d'alimentation. La bobine à 24 V continu est fournie à la demande.

■ Ralentisseur à courant de Foucault

C'est un module supplémentaire qu'on peut équiper d'un moteur frein. Le ralentisseur est composé d'une bobine, d'un volant magnétique et d'un inducteur en deux parties.
Le ralentisseur offre une régularisation des mouvements de démarrage et de freinage :

- Au démarrage, sous l'action du couple résultant de l'équation entre le couple moteur, le couple ralentisseur et le couple résistant, on obtient un démarrage progressif.
- Au freinage, sous l'action du couple ralentisseur, on obtient un arrêt avec précision.

7.5.2 Entretien préventif

■ Contrôle de garniture et d'entrefer

L'usure normale de la garniture de frein entraîne une augmentation de l'entrefer entre la culasse flasquée et l'armature mobile.
La garniture est en général constituée par les plaques en férodo collées sur les deux faces du disque de freinage. Il existe des garnitures intermédiaires pour les freins à 4 ou 6 faces de freinage.
Lorsque l'entrefer devient trop important, le freinage perd son efficacité : trop lent ou même impossible. Il est bon de contrôler la valeur de l'entrefer, au moyen des cales d'épaisseur, tous les 30 000 à 100 000 manœuvres.

Tableau 7.7 – Entrefer des moteurs freins ABB.

Type de frein	S150	S240	S360
Entrefer (en mm)	0,6	0,6	0,7
Valeur maximale	1,4	1,4	2,2

Tableau 7.8 – Entrefer des moteurs freins Japy.

Type de frein	J	H
Entrefer (en mm)	0,4	0,4
Valeur maximale	0,8	0,8

Tableau 7.9 – Entrefer des moteurs freins Sew-Usocome.

Type de frein	BM05 – BM04	BM08 – BM31	BM32 – BM62	DT71 – DW225
Entrefer (en mm)	0,25	0,3	0,4	0,15
Valeur maximale	0,6	1,2	1,2	0,8

■ Réglages

On effectue le réglage de l'entrefer pour rattraper l'usure de garniture de freinage.

□ Moteur frein Japy

Réglage de l'entrefer (figure 7.18a) : après avoir enlevé la sangle et placé une cale d'épaisseur de 0,4 mm dans l'entrefer, on agit sur les écrous et contre-écrous de la tige de guidage du ressort pour faire approcher l'électrobobine et l'armature.
Réglage des butées de disque de freinage (figure 7.18b) :

- retirer la sangle et la plaque de fermeture (3 vis) en type J et la sangle et le système extérieur de réglage du couple (3 vis) en type H ;
- débloquer avec la clé les contre-écrous immobilisant les deux vis de réglage que l'on vissera à fond sans forcer avec le tournevis. Les dévisser alors d'un quart

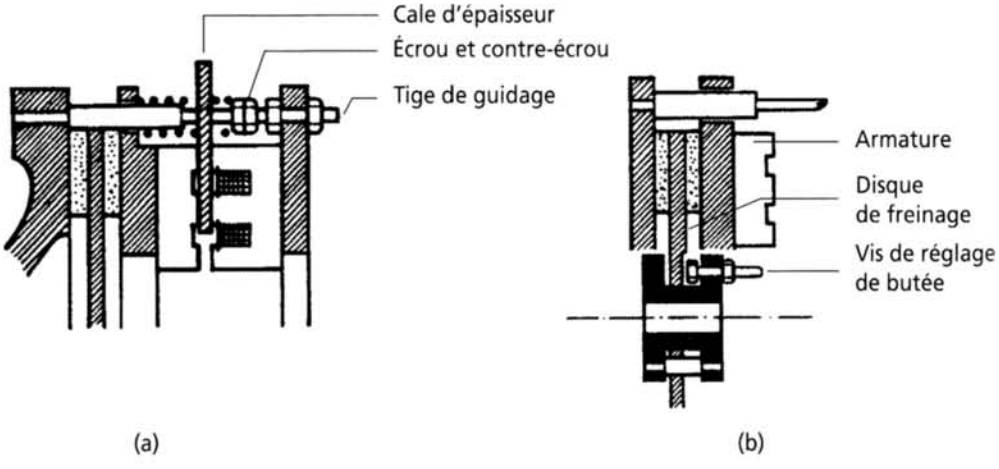


Figure 7.18 – Réglage (a) de l'entrefer et (b) des butées de disque.

de tour et bloquer les contre-écrous avec la clé tout en maintenant avec le tournevis, la position angulaire des vis de réglage ;
– vérifier que, le frein étant débloqué, le rotor tourne librement.

□ Moteur frein Leroy Somer

Réglage de l'entrefer (figure 7.19) :
– dévisser la vis de positionnement en laiton (24) et la dégager des trous de l'armature (11) ;
– dévisser à fond l'armature (11) en agissant sur l'extérieur cranté à l'aide d'un tournevis ; elle vient s'appuyer sur la culasse (9) ;
– revisser l'armature (11) en appuyant sur la vis de positionnement (24), au deuxième trou rencontré, visser la vis (24) et la bloquer.

Remarque

Le réglage de l'entrefer se fait au quatrième trou rencontré pour le frein FCM à plus de deux faces de freinage.

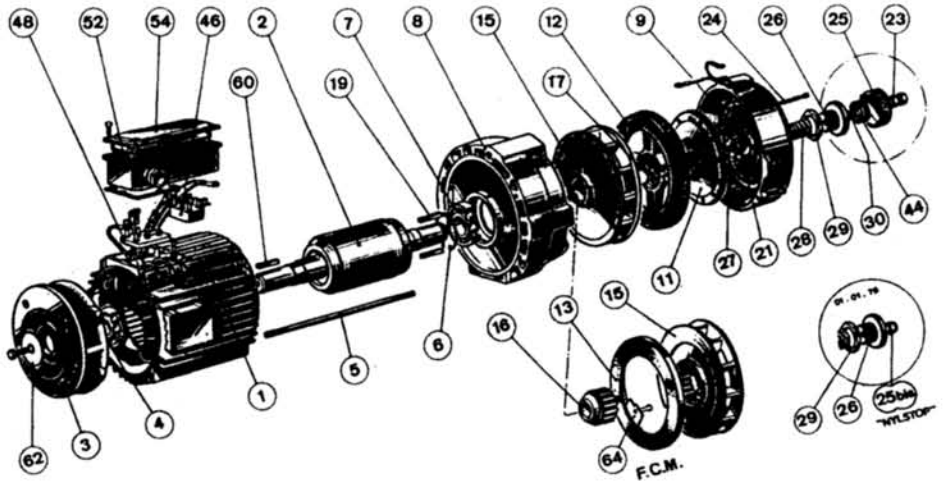


Figure 7.19 – Moteur frein Leroy Somer FCO et FCM.
1. Carter et stator bobiné. 2. Arbre rotor. 3. Flasque avant. 4. Roulement avant. 5. Tiges d'assemblage. 6. Circlips. 7. Roulement arrière. 8. Flasque frein (arrière). 9. Culasse flasquée. 11. Armature. 12. Couronne garnie. 15. Disque frein ventilateur. 17 Circlips. 19. Clavettes de blocage de disque. 21. Butée du ressort. 23. Écrous d'arrêt (ou goupille). 24. Vis de positionnement. 25. Écrou moleté de déblocage. 26. Bouton de réglage du couple. 27. Tige de déblocage. 28. Ressort de pression. 29. Contre-écrou. 30. Rondelles intermédiaires. 31. Vis de montage de la culasse. 43. Vis du corps de boîte à bornes (B à B). 44. Ressort de sécurité. 45. Vis du couvercle de B à B. 46. Bloc cellules. 47. Vis de fixation bloc cellules. 48. Planchette à bornes moteur. 49. Vis de planchette. 50. Presse-étoupe. 52. Corps de B à B. 53. Joint de corps de B à B. 54. Couvercle de B à B. 55. Joint de couvercle de B à B. 60. Clavette de bout d'arbre. 61. Vis de bout d'arbre. 62. Rondelle de bout d'arbre. FCM : 13. Garniture amovible. 16. Moyeu cannelé. 63 et 64. Fixation de la garniture.

Réglage du couple de freinage (figure 7.20) :

– dévisser entièrement le bouton moleté (26) ;
– débloquer le contre-écrou (29) ;
– visser le bouton de réglage (26) pour augmenter le couple ;

La plage de réglage est de 20 à 100 de la valeur indiquée sur la plaque signalétique du frein.
Le couple maximal est obtenu en vissant à fond le bouton de réglage (ressort à spires jointives) puis en le dévissant d'un tour.

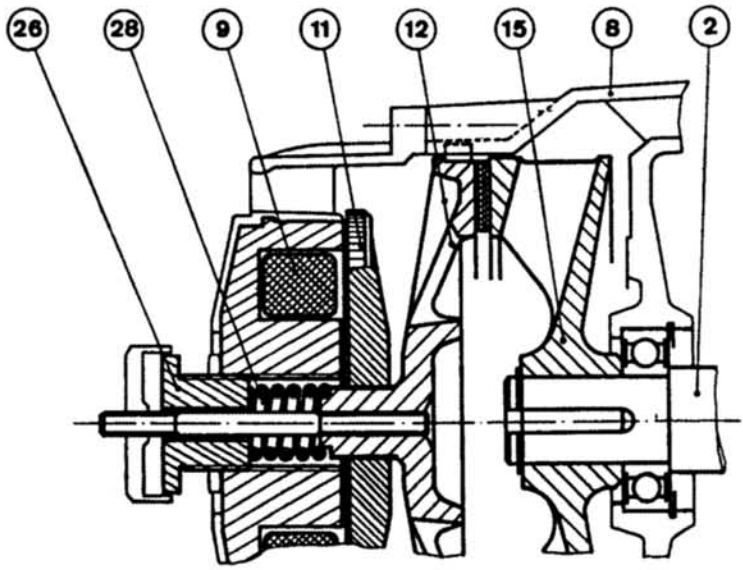


Figure 7.20 – Réglage de couple de freinage.

7.6 Servomoteur

7.6.1 Principe et utilisation

■ Servomoteur

Le servomoteur est un moteur à courant continu comportant :

– un rotor plan à conducteurs lamellaires – induit ;
– un stator à aimant permanent – inducteur.

Le servomoteur est généralement utilisé dans des installations automatisées, en association avec d'autres composants électroniques.
La figure 7.21 donne un exemple de boucle d'asservissement.

■ Dynamo tachymétrique

C'est un organe qui mesure la vitesse instantanée du moteur. Il est composé d'un rotor, d'un stator et de balais. Il en existe deux types :

- ensemble dynamo tachymétrique intégré au moteur ;
- générateur tachymétrique externe.

La rotation du rotor donne naissance à une tension aux bornes du stator.

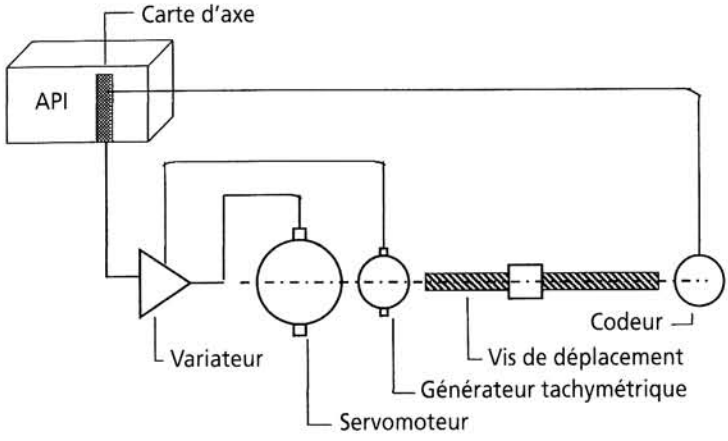


Figure 7.21 – Asservissement d'un déplacement linéaire.

■ Frein

Le frein de retenue à aimants permanents se serre en l'absence de courant. Lorsqu'il est sous tension, le frein est toujours excité et desserré pour libérer l'arbre du moteur. La tension continue appliquée à la bobine du frein est de 24 V ± 10 %.
Le frein est généralement intégré au moteur.

■ Codeur

Le codeur rotatif est un capteur de position angulaire. On distingue deux types de codeurs :

- incrémental : ce codeur délivre un signal analogique basé sur le nombre d'impulsions ou points par tour.
- absolu : ce codeur délivre le code binaire (binaire et binaire réfléchi ou code Gray).

Ces signaux seront traités par l'automate programmable pour asservir le mouvement de rotation.
Le codeur est souvent monté au bout d'un arbre de l'élément à asservir au moyen d'un accouplement hélicoïdal. Cet accouplement est constitué d'un seul bloc monolithique en alliage d'aluminium sur lequel on a creusé une cannelure hélicoïdale. Il possède une certaine élasticité, mais il est rigide sous torsion.

■ **Variateur**

Un variateur à thyristor est utilisé pour faire varier et réguler la vitesse du servomoteur par variation de la tension d'induit sous l'ordre donné par l'automate. Le variateur est muni généralement de trois réglages internes : limitation de courant, vitesse minimale et vitesse maximale.

■ **Protections thermiques**

□ **Sonde thermique**

Sans constituer une protection complète, la sonde thermique permet un suivi continu de la température du servomoteur. Sa résistance s'accroît avec l'augmentation de température.

□ **Contact thermique**

Ce système permet une surveillance continue de l'enroulement du moteur. Le servomoteur est déclenché lorsque le seuil de température est atteint.

7.6.2 Entretien préventif

Le servomoteur est en général équipé de roulements graissés à vie.

■ **Surveillance quotidienne**

Vérifier l'aspect général :

- nettoyage ;
- état du câble d'alimentation ;
- état et serrage du presse-étoupe ;
- étanchéité de la boîte de raccordement.

■ **Contrôle et entretien des balais**

On procède toutes les 1 000 heures au contrôle d'usure des balais et au nettoyage interne en veillant à l'élimination des dépôts de poussière de charbon.
La longueur minimale admissible des balais est de 40 % de la longueur neuve. Autrement dit, on remplace les balais lorsque l'usure atteint les deux tiers de la longueur initiale. Les balais remplacés doivent être de même qualité que celle d'origine.
Après un remplacement, les balais doivent être soumis au rodage à vitesse lente d'environ 1 500 tr/min pendant 2 à 3 heures.
Certains moteurs possèdent un balai de mise à la terre qui se situe entre la garde de graisse du roulement et le générateur tachymétrique.

■ **Contrôle et entretien du collecteur**

Le contrôle du collecteur se fait à travers un trou prévu sur le flasque-palier et en dessous de la boîte à bornes. Pour une inspection plus poussée, il faut démonter le flasque-palier.

Si les stries et les traces d'amorçage apparues sur la surface du collecteur ne peuvent pas être enlevées à la toile d'émeri fine, il faut reprendre ce dernier au tour. Fraiser et gratter méticuleusement l'isolation entre-lames en micanite.
Lors de l'entretien du collecteur, il faudrait aussi remplacer les roulements. La chambre doit être remplie à 30 % de graisse au lithium.

Attention

Certains servomoteurs et dynamo tachymétriques ne peuvent être démontés sans entraîner une démagnétisation des aimants du stator. Cette démagnétisation peut atteindre 30 %, ce qui nécessite une remagnétisation en usine. C'est le cas du servomoteur Axem.

■ Entretien de la dynamo tachymétrique

□ Dynamo tachymétrique Siemens

La dynamo tachymétrique est pratiquement exempte d'entretien. Elle peut être démontée sans risque de désaimantation ; les balais sont à remplacer lorsqu'ils sont usés jusqu'à une longueur résiduelle de 7 mm. Le remplacement se fait par jeu complet suivi d'une opération de rodage.

□ Dynamo tachymétrique Axem série MC/MD

Il existe un moyen simple de vérifier l'usure des balais sans les démonter. Prendre une tige rigide de 1 mm de diamètre et de longueur 65 mm (éventuellement un trombone déplié) :

- introduire la tige dans le trou de la pièce terminale ;
- lire sur un réglet, la cote résultante L (appui sur bossage de la pièce terminale à l'extrémité de la tige) ;
- pour un balai neuf, $L = 50$ mm et, pour un balai en fin d'usure, $L = 42$ mm.

8 • AUTOMATISME

8.1 Automate programmable industriel

8.1.1 Définitions

L'automate programmable industriel (API) est un système électronique destiné à automatiser les tâches d'une installation industrielle en utilisant les fonctions logiques, séquentielles ou numériques.
C'est un automate, au sens d'automatisme, programmable, selon la terminologie informatique.
La programmation et l'exploitation sont simples par la structure de langage, souvent de type symbolique et des moyens de programmation accessibles à l'électricien de maintenance.

■ Structure de l'automate programmable

Les sous-ensembles fondamentaux composant un automate programmable sont (figure 8.1) :

- l'unité centrale qui traite les variables en fonction du traitement logique programmé en mémoire et élabore les ordres de commande ;
- la tête de bac qui assure la liaison entre l'unité centrale et les interfaces ;
- les interfaces d'entrée qui reçoivent les données machines provenant des capteurs ;
- les interfaces de sortie qui appliquent les processus de commande.

■ Unité centrale

L'unité centrale, cœur de l'automate, se compose fonctionnellement des éléments suivants.

□ Unité de traitement

Le processeur, appelé unité de traitement (UT) ou unité arithmétique et logique, a un double rôle :

- assurer le contrôle de l'ensemble de l'automate,
- effectuer les traitements demandés par les instructions d'un programme.

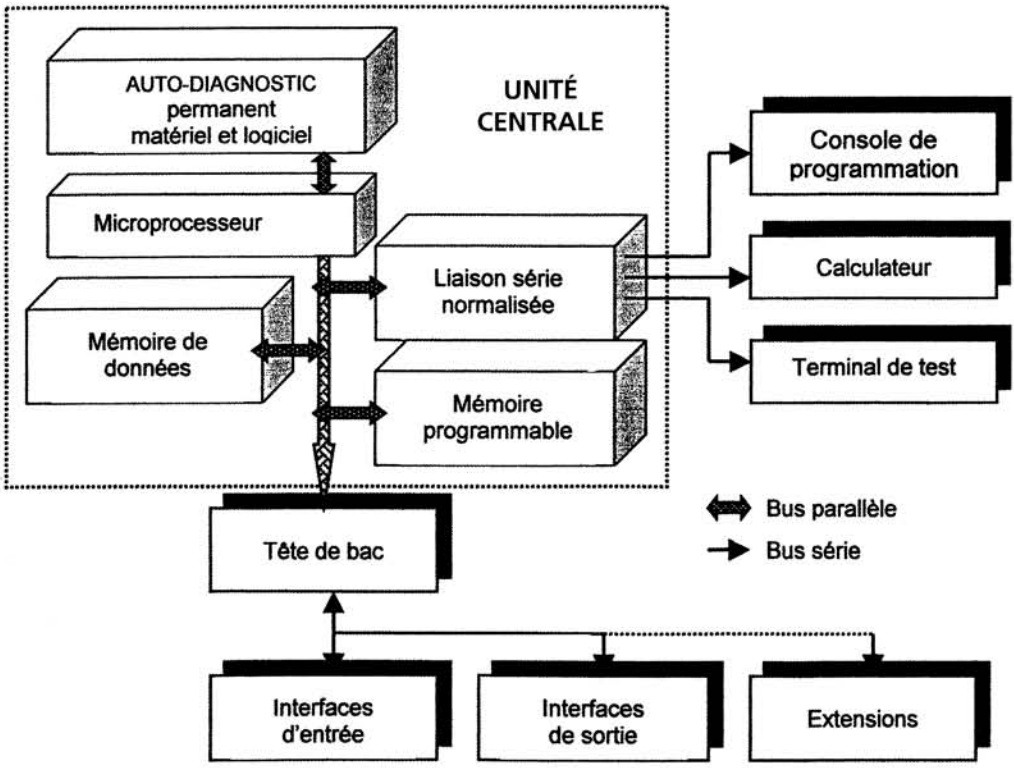


Figure 8.1 – Structure d'un automate programmable.

La technologie câblée utilise des circuits logiques, des portes ou des circuits intégrés. Le processeur contient des registres qui sont des mémoires associés à des circuits logiques, de manière à permettre l'exécution des certaines fonctions de traitement et de service.

– Les registres spécialisés assurent les fonctions de contrôle :
  • le compteur ordinal ou pointeur contient l'adresse de l'instruction en cours d'exécution ;
  • le registre instruction contient l'instruction à exécuter ; il a pour rôle de décoder le code opération (CO) et d'effectuer les opérations demandées ;
  • le registre adresse contient la partie adresse opérande (AO) de l'instruction et permet d'accéder directement ou *via* un registre index au second opérande (s'il existe).
– Les registres généraux effectuent les traitements logiques, arithmétiques…
– L'accumulateur contient le premier (ou unique) opérande.

Les microprocesseurs exploitent les techniques de microprogrammation. L'exécution des programmes élémentaires ou microprogrammes fournit les traitements correspondants aux instructions.

□ Mémoire centrale

La mémoire centrale est découpée en zones destinées à contenir les données, les programmes et le logiciel de base gérant le fonctionnement de l'automate.
La zone des données est divisée en trois sous-ensembles ayant chacun une fonction :

- recevoir les variables acquises par l'automate ;
- mémoriser les variables intermédiaires, résultats de traitements ;
- enregistrer les valeurs de sortie à transmettre aux actionneurs.

Une mémoire est un élément technologique dans lequel on peut écrire, effacer ou lire des informations. Une unité de mémoire est composée de mémoires élémentaires ou points mémoires. Chaque point mémoire enregistre un digit binaire ou bit (0 ou 1).
On définit un « mot » comme un ensemble de 16 bits. La capacité de mémoire est définie par le nombre de mots qu'elle contient. L'unité de mesure est le kilomot (K), ne valant pas 1 000 mais 1 024 (2^{10}) mots correspondant à la puissance de 2 la plus proche :

- 1 K = 1 024 mots,
- 2 K = 2 048 mots,
- 4 K = 4 096 mots,
- 8 K = 8 192 mots...

On distingue deux types de mémoires selon la possibilité ou non d'écrire et d'effacer :

- la mémoire vive ou *random access memory* (RAM),
- la mémoire morte ou *read only memory* (ROM).

On distingue en outre :

- la mémoire morte programmable (PROM),
- la mémoire morte reprogrammable (REPROM).

□ Bus de liaison

Les interfaces entre le procédé et la logique interne d'un automate sont assurées par des cartes électroniques appelées coupleurs.
Le bus est un chemin emprunté par les informations entre les cartes et avec l'extérieur. C'est un circuit imprimé situé au fond de panier sur lequel sont connectés le processeur, la mémoire centrale et les coupleurs.

8.1.2 Périphériques de l'automate

■ Système d'entrée et de sortie (E/S)

Les dispositifs E/S classiques permettent de connecter des procédés situés à faible distance de l'automate (quelques mètres à quelques dizaines de mètres).
Certains automates autorisent le déport de distance de modules E/S jusqu'à 100 à 300 m et fonctionnent en mode synchrone.
La transmission par modem (modulateur-démodulateur) permet la décentralisation du système E/S.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

Le système de transmission pour automate programmable (STRAP) permet le transfert du signal 24 V – 300 mA jusqu'à 100 m.
Le système d'entrées-sorties industrielles autonomes, doté d'un microprocesseur et d'une mémoire intermédiaire sur son coupleur, offre les possibilités suivantes :

- liaison parallèle locale : quelques mètres,
- liaison parallèle à distance : une centaine de mètres,
- liaison série asynchrone.

■ Console de programmation

La console de programmation donne accès à la mémoire de l'API. Son rôle consiste à traduire les instructions utilisateur du code mnémonique en instructions machines exécutables par l'automate.

■ Boîtier test

Un boîtier test permet :

- l'affichage manuel de ligne de programme à contrôler ;
- la visualisation de l'instruction : code opératoire et adresse de l'opérande ;
- la visualisation du contenu de l'accumulateur logique, après exécution de l'instruction ; ceci permet, en pas à pas, de localiser l'endroit où l'équation cesse d'être satisfaite et donc de déterminer l'origine d'une panne éventuelle ;
- la visualisation de toute entrée, sortie ou mémoire interne.

■ Unité de dialogue en ligne

L'unité de dialogue en ligne (UDEL) offre des possibilités supplémentaires au boîtier test pour des interventions ponctuelles :

- modification de constante ;
- accès aux valeurs courantes des paramètres ;
- suivi et réglage de temporisations et des comptages ;
- chargement de programme de fabrication.

Une clé de sécurité détermine la personne autorisée à intervenir. Ce système est équivalent au système américain *Timer/Counter Access Module* (TCAM).

■ Imprimante parallèle

Il est possible d'éditer sur l'imprimante certains résultats (états de compteurs, de temporisation poids, mesures diverses) ou des messages d'erreurs.
Certains dispositifs d'impression par ligne contiennent des messages préenregistrés sur mémoires ROM ou PROM et peuvent écrire l'information correspondante par l'activation d'un bit.

■ Capteurs

Ce sont des éléments placés sur les installations pour détecter les informations locales qui constituent les données de l'automatisation.

□ **Capteurs passifs**

Ce sont tous les capteurs équivalents à un contact sec ouvert ou fermé libre de potentiel (fins de course, boutons poussoirs...) ou aux composants passifs (thermistance, potentiomètre...).

□ **Capteurs actifs**

Ce sont tous les capteurs qui nécessitent une source de tension. Exemple : détecteurs de proximité inductifs ou capacitifs, cellules de détection photoélectrique...

8.1.3 Exploitation

■ **Rôle de l'automate programmable**

Au début, l'automate programmable servait uniquement à réaliser les fonctions logiques et séquentielles et au contrôle de commande individuelle des machines – rôle de séquenceur.
Actuellement, il effectue, en plus de ces fonctions logiques, le traitement numérique, la gestion de production, la localisation des pannes, l'échange des messages et le traitement de texte en clair pour renseigner les agents d'exploitation sur la conduite de la machine.
L'évolution technologique des microprocesseurs se caractérise par :

– l'augmentation des capacités de mémoire ;
– l'accroissement des vitesses de traitement.

Elle permet une mise en œuvre plus souple et rapide des automatismes des lignes de production.

■ **Liaison interautomates**

Cette liaison, dite « maître tournant » ou liaison guirlande, permet de mettre en commun tous les automates de la boucle sans désigner un automate maître ou superviseur (figure 8.2).
Chaque automate diffuse à tour de rôle les informations successivement dans la boucle. La liaison est réalisée par une paire de lignes blindées isolées ou de fibres optiques. Elle est rapide avec un temps de réaction inférieur à 40 ms.

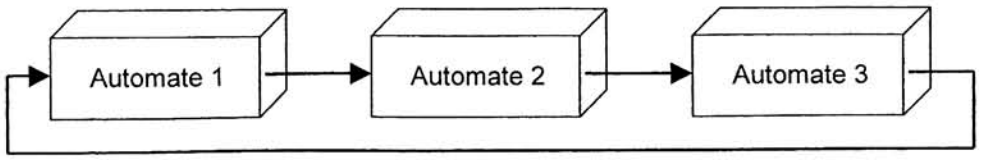


Figure 8.2 – Liaison interautomates.

■ **Communication automates/calculateur**

Dans cette configuration, le calculateur a le rôle de superviseur ou de maître, c'est-à-dire qu'il est le seul à pouvoir décider d'un échange d'informations. Cet échange s'effectue toujours entre le maître et l'un des esclaves couplés en série sur la ligne (figure 8.3).
La liaison est établie par deux paires blindées et isolées.

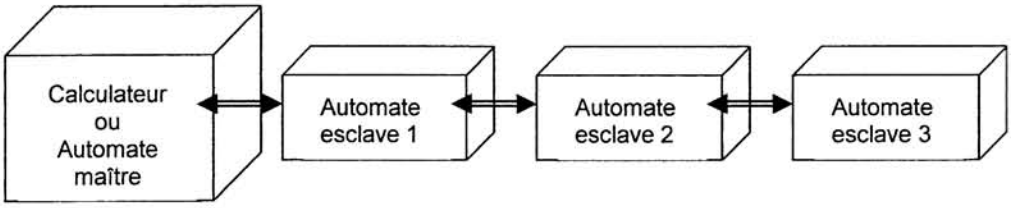


Figure 8.3 – Liaison automates/calculateur.

■ **Animation d'une ligne de production**

L'organisation est entièrement liée à la notion de hiérarchisation :

- le niveau le plus bas du système est représenté par l'ensemble des automates en liaison guirlande qui animent un groupe de machines ;
- chaque groupe de machines est supervisé par un automate maître. Les informations sont transmises au pupitre de conduite à travers le réseau local, ce qui permet ainsi de piloter et de surveiller les machines depuis la salle de supervision ;
- enfin, toujours à travers le réseau local, les automates de supervision communiquent les informations au système de gestion. Les signaux de traitement sont envoyés dans le réseau de communication standard.

Le système complet de supervision permet :

- la gestion de l'automatisme de la machine ;
- la gestion des évolutions, paramètres pièce-outil, ordres opérateur, paramètres de maintenance ;
- la gestion de la production : taux d'utilisation machine, coût d'une pièce.

8.1.4 Conditions d'exploitation

■ **Environnement de l'automate en fonctionnement**

□ **Température de fonctionnement**

Le fonctionnement de l'automate est garanti pour une température de fonctionnement T_F :

$$0 < T_F \leq 55\ °C$$

Le point de relevé de température de fonctionnement est à une distance de l'automate inférieure à 50 cm.

Tableau 8.1 – Température de fonctionnement.

$T_F > 55$ °C	Prévoir une climatisation et réguler à 50 °C environ pour éviter la condensation à l'ouverture des portes de l'armoire
$40 < T_F < 55$ °C	Ventilation suivant les spécifications de l'automate
$T_F < 40$ °C	Pas de ventilation
$T_F < 0$ °C	Prévoir un système de chauffage

☐ Humidité

L'humidité relative de fonctionnement doit être inférieure à 90 % (sans condensation). L'humidité relative minimale est de 5 %.

☐ Atmosphère

Dans une ambiance corrosive (sel, acide), l'automate doit être sous protection.
En atmosphère explosive, l'automate doit être hors de la zone de sécurité intrinsèque.

☐ Altitude

Le fonctionnement est garanti pour une altitude maximale de 2 000 m.

☐ Poussière

Les poussières de l'air ambiant encrassent les modules, générant des dysfonctionnements de connexions. Certaines poussières sont conductrices et peuvent provoquer des courts-circuits perturbant le fonctionnement de l'automate.
Il est nécessaire, dans une ambiance poussiéreuse, d'installer l'automate dans une enceinte fermée, étanche et propre.
Dans certains cas, il faut protéger l'automate à l'intérieur d'une armoire fermée avec une surpression d'air sec.

☐ Vibrations

Le niveau de vibration doit être inférieur à une amplitude de 75 µm (fréquence de 10 à 55 Hz, accélération 1 g).

☐ Indice de protection

Les indices de protection sont de IP205 à IP305 selon le type.

☐ Armoire automate

- L'armoire doit être propre.
- Interrompre la ventilation à l'ouverture de l'armoire pour éviter l'aspiration des poussières.
- Éviter d'utiliser des portes en plexiglas (charge statique).
- Assurer la continuité de terre entre armoires.
- Placer l'automate en haut de l'armoire.

■ Recommandations d'installation

□ Séparation des câbles

Séparer les câbles en goulottes selon le type de signaux qu'ils véhiculent :

- alimentation 220 V – 50 Hz,
- hauts niveaux d'entrée,
- hauts niveaux de sortie,
- signaux logiques et bas niveaux (liaisons séries, liaisons analogiques).

Les câbles véhiculant les faibles niveaux ne doivent pas cheminer dans les mêmes goulottes que ceux transportant des courants forts.
Ne pas faire circuler dans un même câble (multiconducteurs) des tensions de natures différentes (alternatif et continu), ainsi que des liaisons de fonctions différentes (entrée, sortie).

□ Prise de terre

- La masse de référence est la masse de l'armoire ou rack ou de l'embase principale et celle-ci doit être reliée à la terre.
- Raccorder les blindages surfaciquement aux deux extrémités à la terre et non aux 0 V disponibles sur les broches des connecteurs.
- Autour de la commande, référencer tous les secondaires de transformateurs à la terre.

□ Champs électrique et magnétique

Toute installation dans un poste haute tension, à proximité immédiate d'un four à arc, de disjoncteurs ou de câbles de liaison à ces dispositifs doit respecter les distances minimales indicatives suivantes :

- 5 m pour un appareillage de 500 kVA ;
- 10 m pour un appareillage de 5 MVA.

□ Capteurs actifs

- Capteur à 2 fils : le raccordement s'effectue en série avec l'alimentation et la charge ou l'entrée automate.
- Capteur à 3 fils : deux de ces bornes sont réservées à l'alimentation, la charge étant branchée entre l'une de ces bornes, désignée par le constructeur et la troisième appelée sortie.

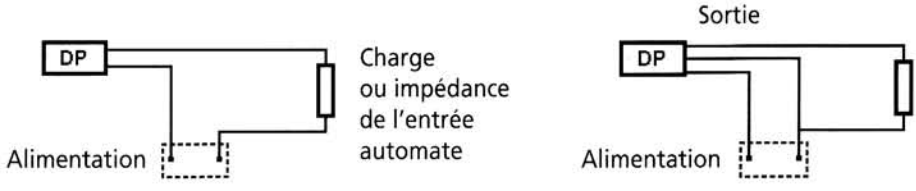


Figure 8.4 – Branchement des capteurs.

□ Alimentation

- La distribution des alimentations et des terres doit se faire en étoile.
- Utiliser les alimentations protégées contre les surtensions par varistances.
- Adopter un régime TN-S, neutre non distribué, pour la commande.

■ Précautions générales pour les alimentations

□ Température

Prévoir un dispositif de coupure d'alimentation à une température supérieure à 55 °C.

□ Foudre

- Sur les lignes fréquemment atteintes par la foudre, il est conseillé de monter un parasurtenseur sur l'arrivée secteur de l'automate et/ou des alimentations de ses interfaces d'entrée et de sortie.
- Sur les lignes de transmission longue distance, monter un parasurtenseur à chaque extrémité de la ligne.

□ Perturbations électriques

Dans les milieux de forte perturbation, des transformateurs d'isolement sont nécessaires. Trois transformateurs d'alimentation automate, d'alimentation des entrées et d'alimentation de sorties sont à envisager.

□ Sécurité des alimentations E/S

Le dispositif tel que le chien de garde, flag de défaut, permet de traiter la sécurité automate avec coupure de puissance.

□ Alimentation capteurs

Certains capteurs sont sensibles aux parasites (surtout les 3 fils DC). Dans ce cas, prévoir une capacité aux bornes d'alimentation et le plus près possible du capteur (figure 8.5).

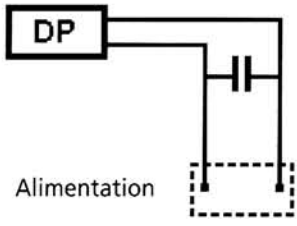


Figure 8.5 – Protection antiparasite.

Les caractéristiques du capteur et celles de leurs charges doivent être parfaitement adaptées, afin que les tensions d'entrée de la charge pour l'état ouvert et fermé du capteur soient dans les tolérances de la tension d'alimentation.

■ **Stockage**

- Le matériel non installé doit se trouver dans un local sec, à l'abri des projections d'eau, des agents chimiques et rester dans son emballage d'origine.

$$-40\ °C \leq \text{Température de stockage sans pile} \leq 75\ °C$$

- Après stockage, un module peut être mis sous tension à condition qu'il soit porté au préalable dans son emballage à une température comprise entre 0 et 40 °C.
- Si le contenu de la mémoire RAM ne doit pas être sauvegardé pendant le stockage, il est conseillé d'enlever les piles.
- Les cassettes et les disquettes d'enregistrement doivent être entreposées en dehors d'une zone de champ magnétique et à une température comprise entre – 20 °C et + 60 °C.

8.1.5 Entretien préventif

Dans les systèmes à automates programmables, l'expérience montre :

- que 95 % des défauts sont d'origine externe,
- que 5 % sont d'origine interne.

Et parmi les origines internes, 90 % de défauts sont dus aux éléments d'entrée et de sortie.
Les défauts de fonctionnement proviennent principalement de la réalisation de programme ou du non-respect des conditions de mise en service.
La principale cause de détérioration d'une carte est une surtension au niveau des entrées.
Les contacts électriques sont également des points critiques de la maintenance des automates comme tous les appareils électroniques.
Les principaux problèmes de fiabilisation se trouvent donc au stade de conception de la fabrication et de l'installation.
Chez les constructeurs, les tests systématiques assistés par ordinateur de tous les composants et le vernissage de tous les circuits intégrés donnent une fiabilité satisfaisante.
Les utilisateurs devront respecter les règles d'installation de l'automate et des capteurs, et adopter les protections selon les conditions d'exploitation.

■ **Vérification quotidienne**

- Nettoyer et vérifier l'étanchéité de l'armoire automate.
- Vérifier le bon fonctionnement de la ventilation.
- Vérifier le fonctionnement de la climatisation et du chauffage selon la saison et la bonne régulation de la température de fonctionnement.
- Vérifier l'aspect des câbles d'alimentation et des prises de terre.

■ **Contrôle des éléments de la boucle d'automatisme**

La maintenance préventive doit prendre en compte l'ensemble de la boucle de l'automatisme. Il est aussi important de contrôler l'état physique des capteurs.

■ **Remplacement des piles**

Le remplacement des piles de sauvegarde est systématique tous les trois ans. Par précaution, certaines entreprises adoptent une politique de remplacement des piles des automates critiques tous les ans.

8.2 Détecteurs de proximité

Dans les applications d'automatisme, il est nécessaire de positionner précisément les organes asservis. Les asservissements de déplacement des organes ou équipements mobiles font appel à des capteurs de position. C'est le cas par exemple pour les robots, les magasins de stockage automatique, les chariots autoguidés, les lignes de conditionnement automatisées.
De nombreuses techniques ont été développées de façon à répondre aux différents besoins. Dans certains cas, l'étendue de mesure constitue le critère essentiel, tandis que dans d'autres, c'est la résolution et la précision. Nous ne développons dans ce chapitre que des capteurs de position de courte distance, appelés précisément capteurs de proximité.

8.2.1 Détecteur de proximité inductif

■ **Fonctionnement**

Le détecteur de proximité inductif est principalement constitué (figure 8.6) :
- d'un oscillateur à haute fréquence,
- d'un circuit de mise en forme,
- d'un amplificateur.

La bobine du circuit oscillant, logée dans une ferrite magnétique ouverte d'un côté, constitue la face sensible du capteur. Un champ magnétique alternatif est engendré à l'avant de la face sensible. Toute pièce métallique pénétrant dans ce champ devient le siège de courants de Foucault réduisant l'amplitude d'oscillation. Le circuit de mise en forme convertit cette variation d'amplitude en signal de sortie qui sera amplifié par l'amplificateur.

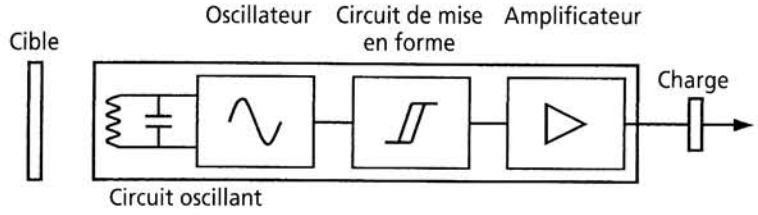


Figure 8.6 – Détecteur de proximité inductif.

■ **Caractéristiques de fonctionnement**

La portée est la distance à laquelle une cible s'approchant de la face sensible provoque le changement d'état du signal de sortie.

□ **Portée nominale S_n**

Valeur conventionnelle de désignation de l'appareil, elle ne tient pas compte des dispersions de fabrication et des effets de température et de tension.
La gamme des détecteurs inductifs présente les portées suivantes :

- DPI noyables : S_n de 0,8 à 10 mm ;
- DPI non noyables : S_n de 2,5 à 15 mm.

□ **Portée de travail S_a**

C'est la distance à l'intérieur de laquelle le fonctionnement correct du détecteur est assuré.

$$0 < S_a < 0{,}81\ S_n$$

□ **Course différentielle *H***

C'est la distance entre le point d'action quand la cible s'approche et le point de relâchement quand la cible s'éloigne.

■ **Caractéristiques électriques**

□ **Détecteur de type « à fermeture NO »**

C'est un détecteur dont la sortie laisse passer le courant lorsque la cible est détectée.

□ **Détecteur de type « à ouverture NF »**

C'est un détecteur dont la sortie bloque le courant lorsque la cible est détectée.



NO NF

Figure 8.7 – Circuits équivalents.

□ **Courant permanent I_a**

C'est le courant maximal par lequel le capteur fonctionne correctement en permanence.

□ **Courant résiduel I_r**

C'est le courant qui continue de circuler dans le circuit de sortie lorsque le détecteur est en état de non-détection ou non passant.

□ Fréquence de commutation *F*

C'est le nombre de cycles de fonctionnement ou de changement d'état pendant une durée spécifiée.

■ Branchements

Les branchements s'effectuent selon les caractéristiques de fabrication suivantes (figure 8.8).

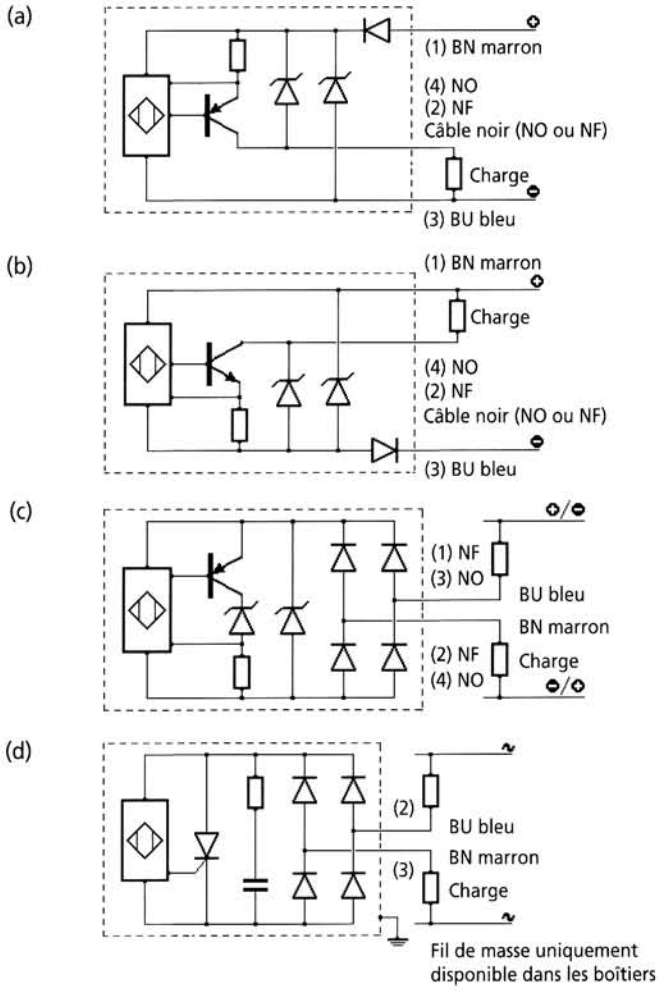


Figure 8.8 – (a) Version PNP à 3 fils courant continu.
(b) Version NPN à 3 fils courant continu.
(c) Version non polarisée à 2 fils courant continu.
(d) Version non polarisée à 2 fils courant alternatif.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ Règles de montage

Les détecteurs noyables peuvent être montés sur un support métallique dont la surface est au ras de la face sensible (figure 8.9).
Pour les versions non noyables, il faut que la zone proche de la face sensible soit libre de tout matériau métallique.

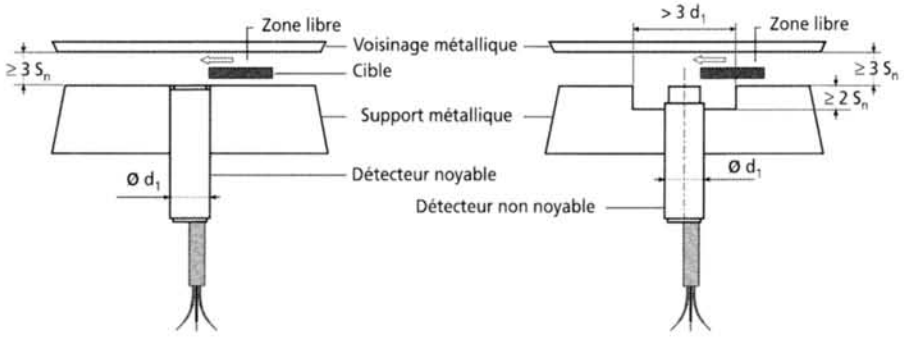


Figure 8.9 – Supports des détecteurs.

La face sensible du détecteur ne doit pas être en retrait de la surface métallique.
Dans le cas où les détecteurs sont montés côte à côte, la distance entre capteurs doit être respectée (figure 8.10) :

- entraxes $\geq 2d_1$ pour les noyables,
- entraxes $\geq 3d_1$ pour les non noyables.

Pour un montage face à face, il est impératif d'observer une distance égale à 10 S_n entre les deux faces sensibles.

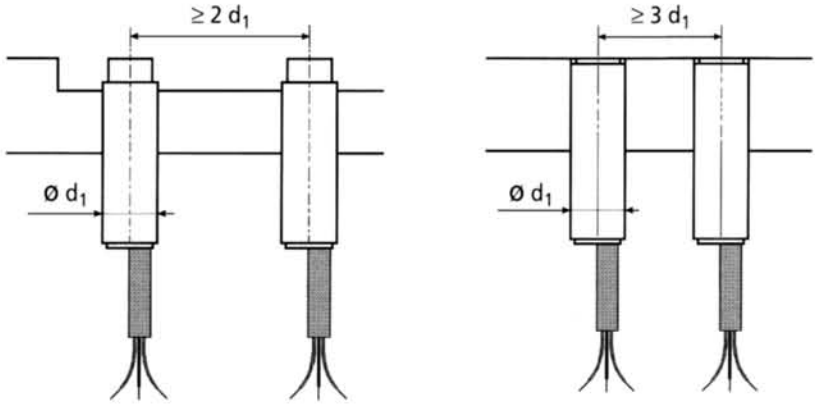


Figure 8.10 – Distance entre deux capteurs.

Il faut éviter les positions verticales (figure 8.11) :
- risque de dépôt de copeaux métalliques sur la face sensible ;
- risque de pénétration de liquides si le presse-étoupe n'est pas correctement monté.

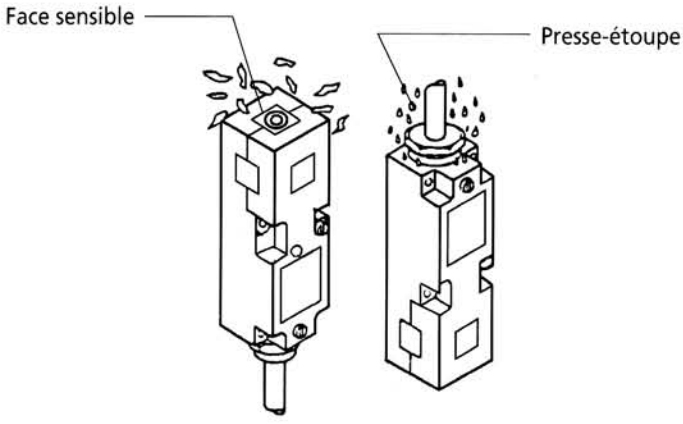


Figure 8.11 – Positions verticales déconseillées.

■ Applications

Les détecteurs sont employés pour détecter les cibles métalliques. Les applications sont nombreuses :
- positionnement des pièces pour le robot de manipulation ;
- reconnaissance des pièces en série sur un tapis roulant ;
- détection de foret cassé sur des machines-outils ;
- contrôle des positions de pince du robot ;
- contrôle de rotation de roues à cames ;
- détection de présence des vis de fixation...

En terme général, ils sont très demandés dans la réalisation des cycles de l'automatisme.

8.2.2 Détecteur de proximité capacitif

■ Fonctionnement

Le détecteur de proximité capacitif est principalement constitué (figure 8.12) :
- d'un oscillateur à haute fréquence,
- d'un circuit de mise en forme,
- d'un amplificateur.

Le champ électrique qui constitue la zone active du détecteur, se présente uniquement devant l'électrode sensible. Lorsque le matériau conducteur est enlevé

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit

de la zone active, l'oscillateur est non amorti et l'amplitude d'oscillation diminue. L'amplification du signal d'oscillation et la sensibilité du détecteur peuvent être ajustées au moyen du potentiomètre intégré.
Un circuit de compensation, intégré et équipé des électrodes intermédiaires, compense automatiquement les influences d'humidité, de poussière et de gel. La portée préréglée reste pratiquement constante.

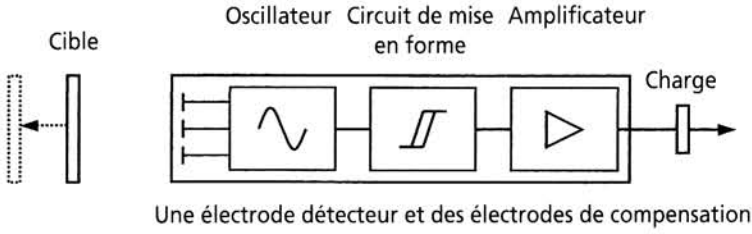


Figure 8.12 – Détecteur de proximité capacitif.

■ Types de détecteurs

□ Détecteur noyé

Les lignes du champ électrique sont directionnelles et perpendiculaires à la surface sensible. Ce détecteur scrute les solides à distance tels que les bouteilles, les cartons, les blocs de plastique et les liquides à travers une paroi de séparation en verre ou plastique d'épaisseur maximale de 4 mm (figure 8.13a).

□ Détecteur non noyé

Ce détecteur (figure 8.13b), avec champ électrique sphérique, est conçu pour détecter des produits solides ou liquides en vrac (granulés, sucre, farine, blé, sable, huile, eau...).

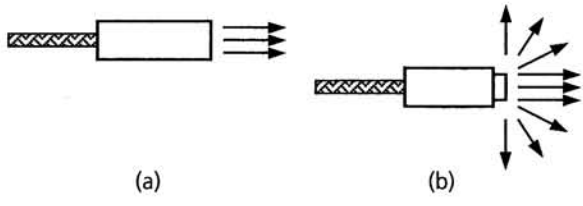


Figure 8.13 – Détecteurs (a) noyé et (b) non noyé.

□ Gamme des détecteurs capacitifs

- DPC noyables : S_n de 2 à 16 mm.
- DPC non noyables : S_n de 3 à 25 mm.

■ Règles de montage

Les règles de montage définissent les distances standard à respecter rigoureusement pour éviter les perturbations de détection (figure 8.14).

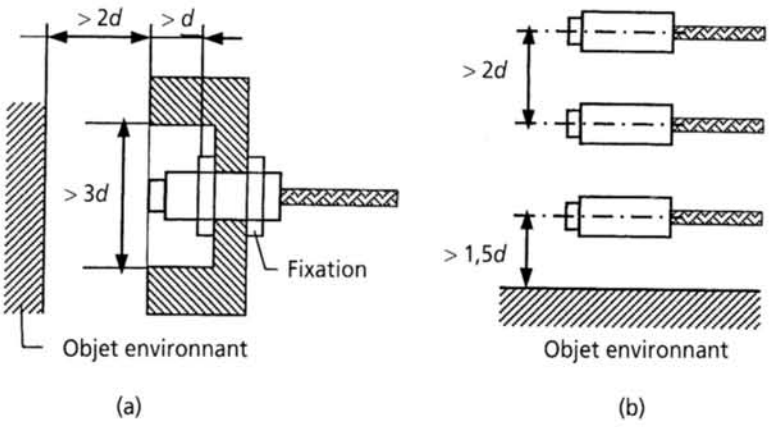


Figure 8.14 – (a) Support et (b) environnement du détecteur.

■ Précautions d'utilisation

Les positions verticales sont déconseillées, le dépôt de gouttes d'eau sur la face sensible diminue la sensibilité du détecteur capacitif. La présence d'une quantité d'eau de 0,2 ml (environ 2-3 gouttes) sur la face sensible fait augmenter la portée de 20 %. Si les gouttes d'eau couvrent toute la face sensible, la portée de travail est allongée de 300 %.

La présence de givre, de gel, d'humidité ou de poussière sur la face sensible entraîne un dysfonctionnement des capteurs.

Les liquides ou les poudres attachés sur les parois de réservoir peuvent causer des dysfonctionnements des capteurs de contrôle de niveau.

Le branchement d'un détecteur de proximité capacitif courant continu à un courant supérieur à 200 mA provoque le claquage du transistor de sortie. Ce détecteur doit être protégé par un relais.

■ Applications

Ce capteur peut détecter les cibles non métalliques, ce qui permet plusieurs applications :

- positionnement de tapis roulant et empilage des matériaux ;
- contrôle de la tension et de l'usure des courroies d'entraînement et de la bobine de papier ;
- comptage des pièces métalliques et non métalliques ;
- contrôle de niveau des divers produits dans des réservoirs. Ces produits peuvent être des fluides, des matériaux pulvérisés ou granulés tels que les poudres, les colorants, la farine, le sucre, le lait en poudre, etc.

8.2.3 Détecteur de proximité magnétique

■ **Fonctionnement**

La cible de ce détecteur est un aimant permanent, qu'on appelle capteur de proximité magnétique ou parfois capteur à effet de Hall.
La plaquette de semi-conducteur est traversée par un courant dans le sens A-B. Une très faible tension apparaît entre E et F, lorsque la plaquette est soumise à un champ magnétique perpendiculaire. Cette tension dite « tension de Hall » est due à la déviation de la trajectoire des électrons sous l'effet du champ magnétique (figure 8.15).

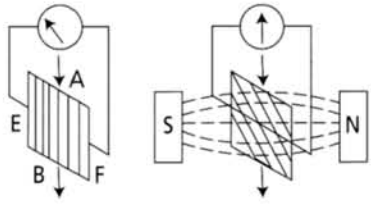


Figure 8.15 – Effet de Hall.

La présence de la cible aimantée fait naître la tension entre E et F de la plaque semi-conducteur. Le capteur bascule de l'état 0 à l'état 1. Cette tension est faible et demande d'être amplifiée.
Le signal de sortie est un signal numérique qui sera directement exploitable par le calculateur (figure 8.16).

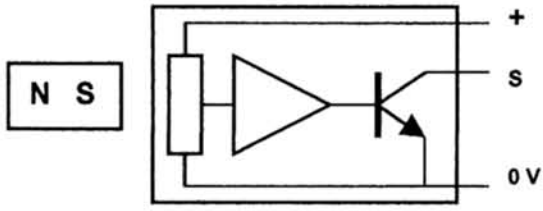


Figure 8.16 – Détecteur à proximité magnétique.

■ **Applications**

- Détecteurs de sécurité : fermeture de capot d'une machine.
- Contrôle de niveau avec flotteur magnétique.
- Contrôle de position de tige de vérin…

8.2.4 Règles générales d'installation

Certaines règles d'installation sont à respecter rigoureusement afin d'éviter les détériorations des détecteurs et de leurs éléments et les dysfonctionnements du cycle d'automatisation :

- le câble doit être suffisamment long pour avoir du mou afin d'éviter l'étirement et les mouvements répétés entre le câble et l'appareil ;
- l'utilisation d'une gaine protectrice de câble est nécessaire ;
- le câble ne doit pas risquer d'être arraché. Il doit être protégé par un embout en matière plastique à la sortie d'un tube métallique (figure 8.17) ;
- le corps du capteur ne peut servir de butée mécanique (figure 8.18) ;
- il faut éviter les porte-à-faux.

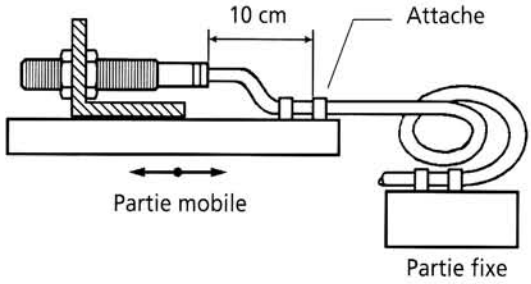


Figure 8.17 – Appareil en mouvement.

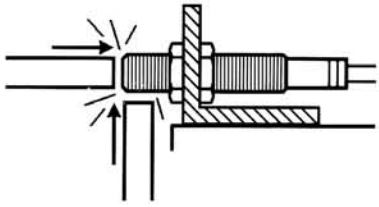


Figure 8.18 – Installation déconseillée : détecteur servant de butée et support en porte-à-faux.

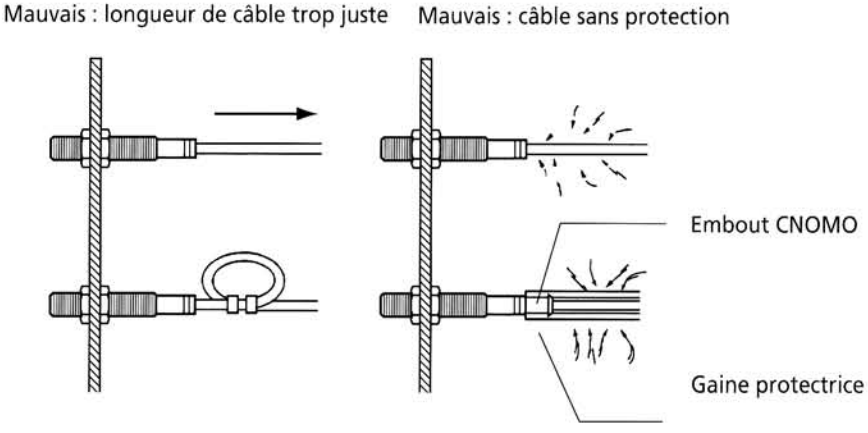


Figure 8.19 – Mou dans le câble et usage de gaine de protection.

La distance D entre la face sensible et la patte d'attaque ou l'aimant de l'objet à détecter doit être comprise entre :

$$\frac{1}{3}S_n < D \leq \frac{2}{3}S_n$$

Il faut respecter le couple de serrage pour fixer le corps des détecteurs (tableau 8.2).

Tableau 8.2 – Couples de serrage.

Diamètre du détecteur (mm)	Écrou et tube plastique (Nm)	Écrou et tube métallique (Nm)	Écrou plastique et tube métallique (Nm)
8	1 (avec rondelle)	—	2 (avec rondelle)
12	3,5	10	3,5
18	7	35	7
30	20	50	20

Le support doit être suffisamment rigide et épais pour résister aux chocs et aux vibrations.
Il faut prévoir un capot de protection, s'il y a risque de choc, tout en respectant la distance minimale entre détecteur et masse métallique.

8.2.5 Entretien préventif

■ **Nettoyage**

Enlever les dépôts ou projections de saletés solides ou liquides.

■ **Aspect général**

Vérifier :
- l'état de fixation du capteur et de ses pattes d'attaque (pour capteur inductif) ou de ses aimants (pour capteur magnétique) ;
- le positionnement du capteur par rapport à ses pattes d'attaque ou ses aimants ;
- l'état du câble, de ses connexions et de son support.

■ **Contrôle éventuel du fonctionnement**

- Effectuer les mouvements.

- Vérifier le changement d'état du détecteur – excité ou désactivé.
- Vérifier son état dans l'automate.

Ces opérations ne sont pas efficaces en terme de maintenance préventive, on y procède seulement après un remplacement. Car pour les détecteurs de proximité, il est plus important de vérifier leur état physique.

8.2.6 Réglages

■ Réglage de sensibilité des détecteurs capacitifs

En général, la sensibilité des détecteurs de proximité capacitif est réglée à 0,7-0,8 S_n correspondant à la limite du domaine dont la courbe de sensibilité est linéaire. Le détecteur scrute le contenu (eau par exemple) à travers la paroi en verre ou en plastique. L'épaisseur de la paroi du réservoir doit être comprise entre 10 et 20 % de la distance de détection (figure 8.20).
Le réservoir est rempli d'eau jusqu'à 75 % environ de la surface active du détecteur.

- Réduire la sensibilité du détecteur, en agissant sur le potentiomètre dans le sens contraire de l'aiguille d'une montre, jusqu'à ce que la diode LED s'éteigne.
- Augmenter la sensibilité du détecteur jusqu'à ce que la LED s'allume.

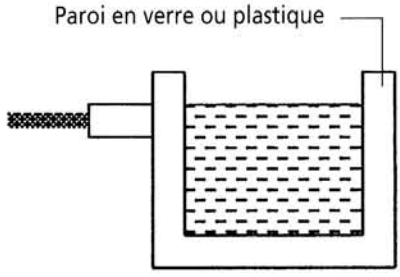


Figure 8.20 – Contrôle de niveau.

On vérifie en même temps les changements d'état dans l'automate.

■ Réglage de distance de détection

Le réglage de distance de détection des capteurs de proximité inductif et magnétique se fait en intervenant sur la fixation et en faisant déplacer la cible en face du détecteur. On vérifie que la LED s'allume ou s'éteint et qu'il y a un changement d'état dans l'automate. On vérifie aussi la course différentielle pour s'assurer que la distance reste dans la portée de travail.
L'usage des rondelles frein évite le risque de desserrage des supports de capteurs et des pattes d'attaque.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

8.3 Thermocouple

8.3.1 Principe et fabrication

■ Thermoélectricité

Le générateur thermoélectrique, constitué par deux conducteurs de nature différente réunis en un point par une soudure, fournit une force électromotrice dont la valeur est fonction de la température du point de jonction (figure 8.21). Ce point de soudure est appelé soudure chaude ou soudure de mesure.
La différence de potentiel est directement exploitable à l'entrée d'un amplificateur.

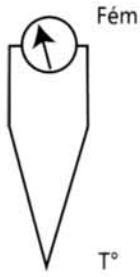


Figure 8.21 – Couple thermoélectrique.

■ Matériaux thermoélectriques

Le choix des deux métaux qui constituent le couple dépend du domaine de l'utilisation. Plusieurs couples thermoélectriques sont bien adaptés à de nombreux cas pratiques de mesure. Ils font l'objet de normes internationales.
Les métaux utilisés sont le cuivre, le constantan, le nickel, le fer, le platine.

■ Thermocouple industriel

Les extrémités des deux éléments thermoélectriques sont nettoyées soigneusement avant d'être soudées à l'arc électrique. Le couple formé est enrobé de l'isolant qui est souvent fabriqué en poudre de magnésie fortement compactée qui offre une résistance d'isolement de plusieurs milliers de méga-ohms. L'ensemble est introduit dans un tube métallique qui constitue la gaine, assurant la protection mécanique et chimique (figure 8.22).

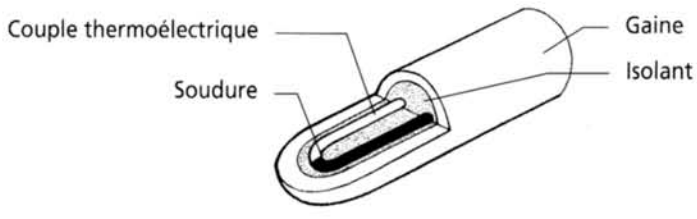


Figure 8.22 – Thermocouple.

La fonction de l'isolant est d'empêcher tout contact entre les conducteurs, et entre les conducteurs et la gaine. L'utilisation du bon isolant est nécessaire pour un diamètre de l'ensemble de l'ordre de quelques millimètres jusqu'à 0,5 mm.
Pour les thermocouples industriels, la gaine est en acier inoxydable, ce qui garantit la durée de vie du couple et la qualité de mesure.

■ Câbles de liaison

□ Câble d'extension

Les câbles d'extension permettent de prolonger les circuits de thermocouple jusqu'à l'appareil de mesure (figure 8.23). Les conducteurs sont réalisés dans les mêmes matériaux que ceux du thermocouple ; ils n'introduisent donc pas d'erreur dans la mesure.
Longueurs standard : jusqu'à 99 m.
Câbles d'extension multivoies : jusqu'à 24 voies.

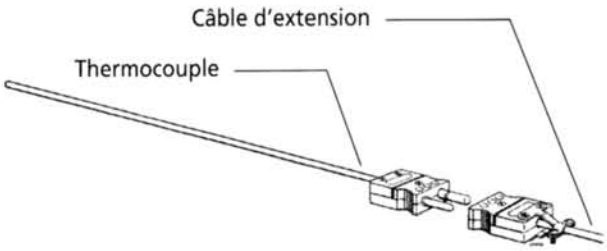


Figure 8.23 – Thermocouple et câble d'extension.

□ Câble de compensation

Les matériaux thermoélectriques des couples sont des métaux rares ou précieux. Cependant les couples peuvent être connectés à des câbles de compensation dont les matériaux thermoélectriques sont moins onéreux. Ils fournissent la même force électromotrice que les thermocouples dans le domaine de température de 0 à 80 °C.
Au-delà de 80 °C, on évitera des erreurs de mesure en préférant un câble d'extension à un câble de compensation.

■ Thermocouple de surface armature magnétique

Ce thermocouple est destiné à la mesure de la température de surface sur métaux ferreux. Le système à ressort permet un bon contact (figure 8.24a).
Types K, J, T et E. Température d'utilisation maximale : 370 °C.
Câble d'extension en soie de verre – terminaison par connecteur mâle.

■ Thermocouple de surface

Le thermocouple de surface (figure 8.24b) ou thermocouple à coller est destiné à mesurer la température de surface. Sa mise en place peut être réalisée par adhésif

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

ou ciment-colle. Grâce à sa souplesse, il peut être installé sur des surfaces de diverses formes.
Types K, J, T et E.
Température d'utilisation : de – 75° à 260 °C.
Isolement de la masse par un film Kapton siliconé.
Raccordement par connecteur miniature compensé.

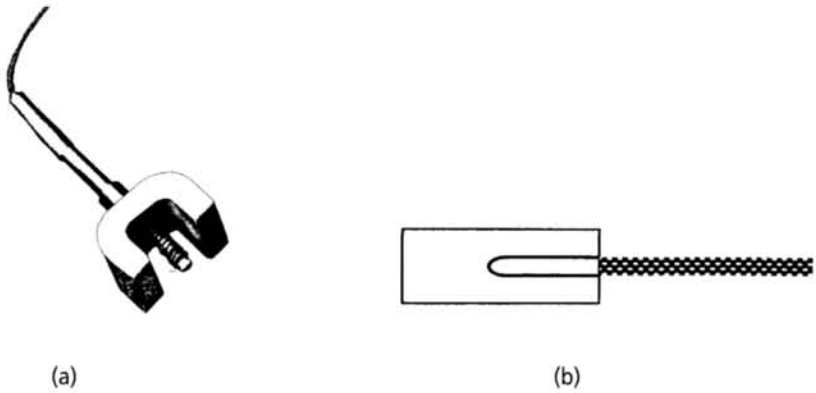


Figure 8.24 – (a) Thermocouple à armature magnétique et (b) thermocouple de surface.

8.3.2 Caractéristiques

■ Types de thermocouples

Le type est désigné par une lettre qui indique les deux matériaux constituant le couple (tableau 8.3).
La norme NF C 42-321 définit les thermocouples standard (tableau 8.4).

■ Force électromotrice des jonctions de référence à 0 °C

La nature des fils du couple détermine la valeur et la polarité de la force électromotrice (tableau 8.5).

■ Câbles de compensation

Voir tableau 8.6.

Tableau 8.3 – Types de thermocouples.

Symbole	Positif	Négatif	Précision	Normes
T	Cuivre	Constantan	± 2 % de –100 °C à –40 °C ± 0,8 °C de –40 °C à +100 °C ± 0,75 % de +100 °C à +350 °C	Française NF E 18001
J	Fer	Constantan	± 3 °C de 0 °C à +400 °C ± 0,75 % de +400 °C à +800 °C	
K	Nickel chrome (chromel)	Nickel allié (alumel)	± 3 °C de 0 °C à +400 °C ± 0,75 % de +400 °C à +1 250 °C	
S	Platine rhodié 10 %	Platine	± 2,5 °C de 0 °C à +400 °C ± 0,4 % de + 600 °C à + 1 600 °C	
T	Cuivre	Constantan	± 2 % de – 150 F à – 75 F ± 1,5 F de – 75 F à + 200 F ± 3-4 % de + 200 F à + 700 F	Américaine ASA C961 –1964
J	Fer	Constantan	± 4 F de + 32 F à + 530 F ± 3-4 % de + 530 F à + 1 400 F	
K	Chromel* (nickel chromel)	Alumel* (nickel allié)	± 4 F de + 32 F à + 530 F ± 3-4 % de + 530 F à + 2 300 F	
S	Platine rhodié 10 %	Platine	± 5 F de + 32 F à + 1 000 F ± 1-2 % de + 1 000 F à + 2 700 F	
Cu/konst	Cuivre	Constantan	± 2 % de – 100 °C à + 40 °C ± 0,8 °C de – 40 °C à + 100 °C ± 0,75 % de + 100 °C à + 350 °C	Allemande DIN 43710 et DIN 43713
Fe/konst	Fer	Constantan	± 3 °C de 0 °C à + 400 °C ± 0,75 % de + 400 °C à + 800 °C	
NiCr/Ni	Nickel chrome	Nickel	± 3 °C de 0 °C à + 400 °C ± 0,75 % de + 400 °C à + 1 200 °C	
Pt Rh/PT	Platine rhodié 10 %	Platine	± 3 °C de 0 °C à + 600 °C ± 0,5 % de + 600 °C à + 1 600 °C	

* Marque déposée.

Tableau 8.4 – Thermocouples standard définis par la norme NF C 42-3231.

Type	Conducteur +	Conducteur –	Plage d'utilisation
K	Nickel – Chrome 10 %	Nickel – Aluminium 5 % – Silicium	0 à +1 100 °C
V	Cuivre	Cuivre –Nickel	0 à +1 100 °C
T	Cuivre	Cuivre – Nickel – Constantan	–185 à +300 °C
U	Cuivre	Constantan	–185 à +300 °C
J	Fer	Cuivre – Nickel – Constantan	+20 à +700 °C
E	Nickel – Chrome 10 %	Cuivre – Nickel - Constantan	0 à +800 °C
N	Nicrosil (Nickel 84,4 % – Chrome 14,2 % – Silicium 1,4 %)	Nisil (Nickel 95,6 % – Silicium 4,4 %)	0 à +1 100 °C
R	Platine rhodié 13 %	Platine	0 à +1 600 °C
S	Platine rhodié 10 %	Platine	0 à +1 550 °C
B	Platine rhodié 30 %	Platine rhodié 6 %	+100 à +1 600 °C
W	Tungstène	Tungstène – Rhénium 26 %	+20 à +2 300 °C

Tableau 8.5 – Force électromotrice selon nature des fils du couple.

Température (°C)	Couple K (µV)	Couple T (µV)	Couple J (µV)	Couple E (µV)	Couple R (µV)	Couple S (µV)	Couple B (µV)
–270	–6 458	–6 258	—	–9 835	—	—	—
–200	–5 891	–5 603	–7 890	–8 824	—	—	—
0	0	0	0	0	0	0	0
+ 100	4 095	4 277	5 268	6 317	647	645	33
+ 200	8 137	9 286	10 777	13 419	1 468	1 440	178
+ 300	12 207	14 860	16 325	21 033	2 400	2 323	431
+ 400	16 395	20 869	21 846	28 943	3 407	3 260	786
+ 500	20 640	—	27 388	36 999	4 471	4 234	1 241
+ 600	24 902	—	33 096	45 085	5 582	5 237	1 791
+ 700	29128	—	39 130	53 110	6 741	6 274	2 430
+ 800	33 277	—	45 498	61 022	7 949	7 345	3 154
+ 900	37 325	—	51 875	68 783	9 203	8 448	3 957
+ 1 000	41 269	—	57 942	76 358	10 503	9 585	4 833
+ 1 100	45 108	—	63 777	—	11 846	10 754	5 777
+ 1 200	48 828	—	69 536	—	13 224	11 947	6 783
+ 1 300	52 398	—	—	—	14 624	13 155	7 845
+ 1 400	—	—	—	—	16 035	14 368	8 952
+ 1 700	—	—	—	—	20 215	17 942	12 426

Tableau 8.6 – Câbles de compensation.

Positif	Négatif	Couleurs			Précision	Normes
		Positif	Négatif	Gaine externe		
Cuivre	Constantan	Jaune	Bleu	Bleu	± 1 °C de – 20 °C à + 100 °C	Française NF E 18-001
Fer	Constantan	Jaune	Noir	Noir	± 3 °C de 0 °C à + 100 °C	
NiCr	Nia	Jaune	Violet	Jaune	± 3 °C de 0 °C à + 200 °C	
Fer	Cupronickel	Jaune	Blanc	Blanc	± 3 °C de 0 °C à + 200 °C	
Cuivre	Constantan	Jaune	Blanc	Rouge	± 3 °C de 0 °C à + 80 °C	
Cuivre	Cupronickel	Jaune	Vert	Vert	± 50 mV de 0 °C à + 100 °C	
Cuivre	Constantan	Bleu	Rouge	Bleu	± 1,5 F de – 75 F à + 200 F	Américaine ASA C961 –1964
Fer	Constantan	Blanc	Rouge	Noir	± 4 F de 0 F à + 400 F	
Chromel* Fer	Alumel* Cupronickel	Jaune	Rouge	Jaune	± 4 F de 0 F à + 400 F	
		Vert	Rouge	Blanc	± 6 F de + 75 F à + 400 F	
Cuivre	Cupronickel	Noir	Rouge	Vert	± 12 F de + 75 F à + 400 F	
Cuivre	Constantan	Rouge	Brun	Brun	± 1 °C de – 20 °C à + 100 °C	Allemande DIN 43710 et DIN 43713
Fer	Constantan	Rouge	Bleu	Bleu	± 3 °C de 0 °C à + 200 °C	
Matériel de substitution pr NiCr	Matériel de substitution pr Ni	Rouge	Vert	Vert	± 3 °C de 0 °C à + 200 °C	
Matériel de substitution pr PtRh10 %	Matériel de substitution pr Pt	Rouge	Blanc	Blanc	± 3 °C de 0 °C à + 200 °C	

* Marque déposée.

8.3.3 Principe de mesure

■ Détermination de la température

Lorsque l'appareil de mesure est éloigné de la soudure de mesure, un câble d'extension peut fournir la même force électromagnétique (fém) que celle fournie par le thermocouple. L'effet du câble d'extension ou du câble de compensation est cependant négligeable.

La fém naît d'une différence de température ; l'appareil mesure une tension correspondant à une différence de températures T et T_a : $e(T, T_a)$, avec T la température au point de mesure et T_a la température ambiante.

Les tables numériques fournissent, pour tous les couples, les fém délivrées lorsque la soudure est à une certaine température et les fils de raccordement sont à la température de référence de 0 °C. On peut donc obtenir, à partir de la table, la tension $e(T_a, 0)$.

La valeur de tension $e(T, 0)$ correspondant à la température T par rapport la température de référence 0 °C est la somme :

$$e(T, 0) = e(T, T_a) + e(T_a, 0)$$

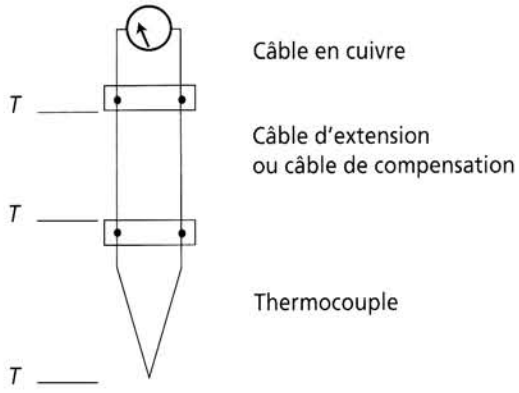


Figure 8.25 – Chaîne de mesure.

■ Thermocouple de compensation

Dans le circuit de mesure, un autre thermocouple de même nature est installé en opposition avec le thermocouple de mesure (figure 8.26). Ce dernier, plongé dans le mélange eau-glace, délivre une tension $e(0, T_a)$ opposée à $e(T_a, 0)$.

L'appareil permet dans ce cas une lecture directe :

$$e(T, 0) = e(T, T_a) + (-e(0, T_a)) = e(T, T_a) + e(T_a, 0)$$

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

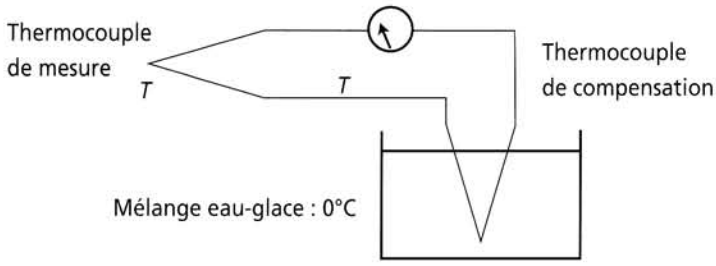


Figure 8.26 – Thermocouple de compensation.

■ Compensation électrique

La tension $e(T_a, 0)$ est générée automatiquement par un circuit de compensation électrique. Le montage dit « à compensation automatique » fournit une tension $e(T, 0)$ quelle que soit la température T. La température ambiante T_a varie cependant dans un intervalle assez restreint.

■ Compensation par décalage d'échelle

Ajouter la tension $e(T_a, 0)$ à la valeur mesurée $e(T, T_a)$ revient à décaler l'échelle de lecture. Ainsi pour une position de l'aiguille qui mesure $E = e(T, T_a)$, on lira (figure 8.27) :

$$E' = E + e(T_a, 0)$$

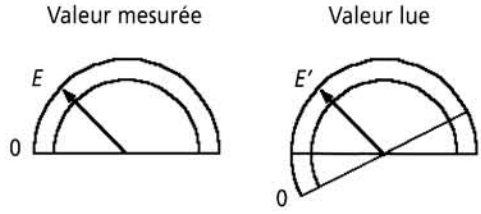


Figure 8.27 – Décalage d'échelle.

■ Enregistreur

L'appareil enregistre les températures des thermocouples et s'applique :
- au contrôle de performance d'équipements de chauffage au gaz,
- à la vérification de ciment d'isolation de température,
- au contrôle de qualité de production…

Les caractéristiques techniques d'un enregistreur automatique de thermocouple sont les suivantes :
- trois canaux : un canal interne pour la température ambiante et deux canaux externes pour thermocouples ;

- entrée : gamme de température des thermocouples (tableau 8.7) ;
- dialogue avec un micro-ordinateur possédant un logiciel de traitement, des sorties imprimante et un traceur de graphique.

Tableau 8.7 – Gamme de température des thermocouples.

	Canal 1		Canal 2	
Type	**Domaine**	**Résolution**	**Domaine**	**Résolution**
J	– 20 à +190 °C	1,4 °C	– 50 à +600 °C	5 °C
K	– 25 à +230 °C	1,7 °C	– 100 à +900 °C	6,7 °C
T	– 35 à +200 °C	1,7 °C	– 200 à +500 °C	6,7 °C

8.3.4 Dysfonctionnements

■ Dérive du thermocouple

Les déformations fréquentes (écrouissage), les attaques chimiques, les radiations nucléaires, la présence d'un champ magnétique altèrent les propriétés du thermocouple, ce qui provoque une dérive. La fém délivrée par le thermocouple ne correspond plus aux valeurs affichées dans les tables.
Les principales causes de dérives sont dues à un changement de composition (corrosion, contamination…) ou une modification métallurgique des matériaux (écrouissage).

■ Précautions d'emploi

Les fils de liaison d'instrumentation, normalement en cuivre, doivent avoir des caractéristiques identiques, sinon le couple formé par les deux fils ajoute une force électromotrice à celle du couple de mesure.
Le câble de compensation est choisi selon le type de thermocouple utilisé. Il est important de bien respecter les polarités à l'installation.

8.3.5 Entretien préventif

■ Vérification quotidienne

- État de la gaine de blindage (pas de pliage ni d'encrassement).
- État de l'écrou ou du raccord de fixation.
- État de la tête de canne.
- État du presse-étoupe.
- État du câble d'extension.
- État du connecteur.
- État du câble de compensation.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ **Mesure de continuité et d'isolement**

- Couple à soudure chaude isolée : $r \geq 1{,}5$ MΩ.
- Couple à soudure chaude à la masse : $r = 0$.

■ **Étalonnage**

L'étalonnage en laboratoire se fait une fois par an et tous les six mois pour les thermocouples sur les organes critiques.

8.3.6 Stockage et précautions

■ **Contrôle à la réception**

Ce contrôle permet de garantir la qualité et l'absence de l'endommagement dû au transport. La figure 8.28 donne un exemple de fiche de contrôle de thermocouple industriel.

■ **Conditions de stockage**

- Disposition à plat.
- Absence de risque de choc, de chute, de pliage et de torsion.
- À tête visible : lecture facile de marquage de caractéristiques.

8.4 Détecteur optoélectronique

8.4.1 Principe de détection

Le but de cet instrument est de détecter la présence ou l'absence d'un objet en utilisant son aptitude à renvoyer ou à bloquer un faisceau lumineux.

■ **Constitution d'un détecteur optoélectronique**

Un détecteur optoélectronique est composé principalement de trois éléments fonctionnels : l'émetteur, le récepteur et l'électronique de traitement (figure 8.29).

□ **Émetteur**

L'émetteur représente une source de lumière à semi-conducteur, c'est-à-dire une diode électroluminescente (LED) ou une diode laser. À la mise sous tension, les diodes émettent de la lumière dans une certaine gamme d'ondes qui peut être continue ou de courtes impulsions.

□ **Récepteur**

Le récepteur est constitué par une photodiode ou un phototransistor. Il convertit l'énergie de la lumière reçue en courant électrique. Des éléments optiques tels que des lentilles ou des diaphragmes sont placés à l'entrée de la lumière.

□ **Électronique de traitement**

Le circuit électronique filtre le signal utile et prend en charge son traitement.

FICHE DE CONTRÔLE				
Référence thermocouple :		**Date de commande :**		
Fournisseur :		**Date de réception :**		
Opérations/Organe		**Bon**	**Mauvais**	**Observations**
CONTROLE DE CONFORMITE	Type			
	Modèle tête			
	Modèle connecteur			
	Diamètre gaine			
	Longueur gaine			
	Longueur câble d'extension			
	Longueur câble de compensation			
CONTROLE DE L'ETAT	Tête de canne			
	Presse-étoupe			
	Gaine			
	Écrou/raccord de fixation			
	Connecteur			
	Câble d'extension			
	Câble de compensation			
MESURE	Isolement			
	Continuité			
APPRÉCIATIONS : ❑ Prêt à l'usage : ❑ À renvoyer : Date et visa :				

Figure 8.28 – Exemple de fiche de contrôle de thermocouple industriel.

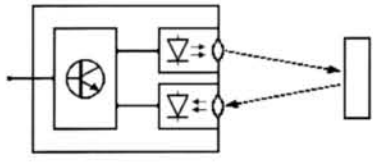


Figure 8.29 – Détecteur optoélectronique

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ Détection par barrage standard

Une cellule émettrice émet un faisceau en direction de la face optique d'une cellule réceptrice. Les deux cellules sont situées sur le même axe et séparées par une distance maximale égale à la distance de détection (figure 8.30a).
L'action de commutation se produit lorsque le faisceau de lumière est coupé.
Ce système est destiné à détecter les objets opaques et réfléchissants.
La distance de détection étendue jusqu'à 35 m permet de réaliser une barrière virtuelle d'une zone de sécurité d'accès.
La détection est peu sensible aux parasites et permet une utilisation dans des conditions difficiles telles que l'environnement crasseux ou à l'extérieur.

■ Détection par barrage reflex

La cellule émettrice et la cellule réceptrice sont incorporées dans le même boîtier (figure 8.30b). Un réflecteur catadioptre situé à l'opposé assure le retour du faisceau au récepteur. Le faisceau lumineux parcourt deux fois la distance de détection et déclenche la commutation lorsqu'il est coupé.
La détection est peu sensible aux parasites.
Elle est utilisée pour la détection des objets opaques.
La distance de détection varie entre 0,1 à 20 m.
Il est possible de détecter du verre transparent avec des détecteurs spéciaux.
La conception des réflecteurs triples donne une capacité de réflexion maximale. Les réflecteurs sont composés d'une multitude de petites pyramides qui renvoient la lumière reçue parallèlement à la direction d'incidence. Cela veut dire que le rayon lumineux est réfléchi en lui-même presque en totalité même pour un angle d'incidence jusqu'à 25° par rapport à l'axe optique.

■ Détection à réflexion directe

Le faisceau de lumière est réfléchi directement de l'objet à détecter (figure 8.30c). La commutation a lieu lorsqu'une quantité suffisante de lumière est retournée au récepteur.
Par analogie avec le détecteur de proximité, cette détection s'appelle aussi détection de proximité.
La distance de détection dépend de la qualité de réflexion de l'objet. Elle est déterminée par la couleur et la nature de sa surface et peut atteindre jusqu'à 3 m.
La détection est sensible à l'encrassement et aux modifications des caractéristiques de réflexion de l'objet.

■ Détection par fibre optique

Raccordées à l'amplificateur (émetteur-récepteur), les fibres optiques conduisent la lumière sur les lieux de détection pour réaliser :

- soit le barrage standard (figure 8.31a),
- soit le barrage à réflexion directe (figure 8.31b).

Par leur souplesse et leur faible encombrement, les fibres optiques permettent la détection des objets de taille très réduite (jusqu'à 0,5 mm) dans des zones difficilement accessibles.

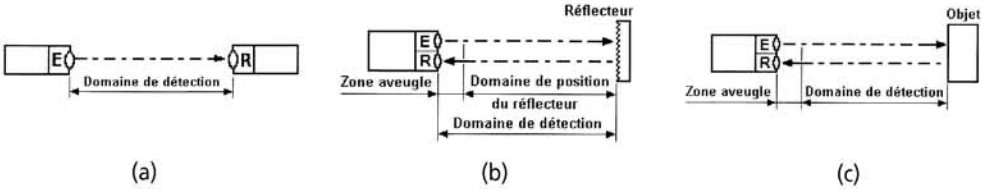


Figure 8.30 – (a) Cellules en mode barrage de type T. (b) Cellules en mode reflex type R. (c) Cellules à réflexion directe type D.

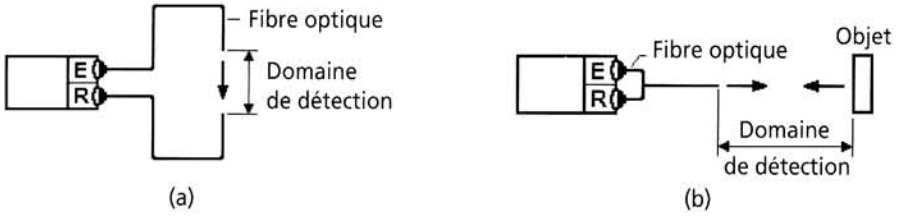


Figure 8.31 – Fibre optique en mode barrage (a) à réflexion standard et (b) à réflexion directe.

■ Fibres optiques

Un câble de fibres optiques est composé de plusieurs fibres optiques avec un noyau à forte densité optique. L'ensemble est entouré d'une gaine à faible densité optique. La réflexion est totale ou pratiquement sans perte, la lumière effectue un mouvement permanent de va-et-vient le long de l'axe optique de la fibre. La lumière est ainsi capable de suivre les courbures de la fibre.

La fibre optique en verre comporte une multitude de fibres, regroupées en faisceau, dont le diamètre individuel est d'environ 50 µm.

La fibre optique en matière plastique ne comporte qu'une seule fibre avec un noyau à forte densité optique et une gaine à faible densité optique en matière plastique.

□ Avantages des fibres optiques en verre

- La gaine peut être réalisée en acier inoxydable, en silicone ou en PVC.
- Ces fibres peuvent être utilisées jusqu'à des températures maximales de 300 °C avec une gaine en acier inoxydable.
- L'influence extérieure est faible.

□ Avantages des fibres optiques en plastique

- Elles sont plus flexibles (rayon de courbure inférieur à celui des fibres en verre).
- Leur coût est faible.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

8.4.2 Caractéristiques et propriétés

■ Sensibilité

Le potentiomètre de sensibilité permet d'ajuster le seuil de détection entre les états limites d'éclairement et d'obscurcissement dans les cas de détections difficiles.

■ Temps de réponse

Les valeurs indiquées expriment aussi bien les temps de réponse à l'arrivée qu'au départ de l'objet.

■ Stabilité

La stabilité est un état de bon fonctionnement de la détection. Elle est effective dans des zones situées de part et d'autre du seuil de détection ± 15 % et indiquée par un témoin de stabilité (vert) : allumé pour un état stable et clignotant pour un état instable.
Certaines cellules possèdent jusqu'à trois voyants :

- LED verte : témoin d'alimentation,
- LED jaune : état de commutation,
- LED rouge : contrôle de la portée.

■ Filtrage des parasites

En principe, les détecteurs optoélectroniques fonctionnent avec deux types de lumière :

- lumière constante : lumière à intensité constante,
- lumière pulsée : lumière alternative.

Dans l'application, les faisceaux peuvent être perturbés par des sources de lumière parasite telles que lumière solaire, lumière des tubes fluorescents ou d'autres détecteurs optoélectroniques approchés.
L'utilisation de la lumière pulsée permet de supprimer les effets parasites et d'avoir une puissance d'émission plus élevée. Les signaux parasites sont éliminés électroniquement par un filtrage à bande passante. Les impulsions de réception sont synchronisées avec la fréquence d'émission.
La fréquence de coupure du filtre est un des critères de choix du détecteur. Certains détecteurs possèdent un commutateur pour l'inversion de la fréquence de commutation/du degré de filtrage.

■ Fréquence d'émission

Il peut y avoir un risque d'interférence lorsque plusieurs détecteurs approchés travaillent avec la même fréquence d'émission. Pour cette raison, certains détecteurs possèdent jusqu'à trois fréquences d'émission à sélectionner.

■ Cellule en mode reflex avec traitement antireflet

La commutation est produite lorsqu'un objet se présente devant le réflecteur, le parcours du faisceau lumineux est coupé. Il se peut qu'il n'y a pas de commuta-

tion si l'objet présenté est réfléchissant. Cependant le récepteur ne peut pas distinguer entre la lumière réfléchie sur le réflecteur et celle sur les objets brillants (récipient en acier inoxydable ou fer-blanc, éléments réfléchissants en matière plastique ou films métalliques).

Dans ce cas, les éléments optiques d'émission et de réception sont respectivement équipés de filtres de polarisation. Ces deux filtres sont déviés de 90° l'un par rapport à l'autre. La lumière émise est polarisée, c'est-à-dire que la vibration est dans un plan. Elle sera dépolarisée lorsqu'elle rencontre le réflecteur, la lumière réfléchie est déviée de 90° par rapport à la lumière émise et traverse le filtre d'entrée du récepteur. Par contre, si le faisceau émis rencontre un objet brillant, la lumière est réfléchie sans que le plan de polarisation soit dévié. Ce faisceau réfléchi ne peut passer par le filtre d'entrée du récepteur. La commutation s'est produite (figure 8.32).

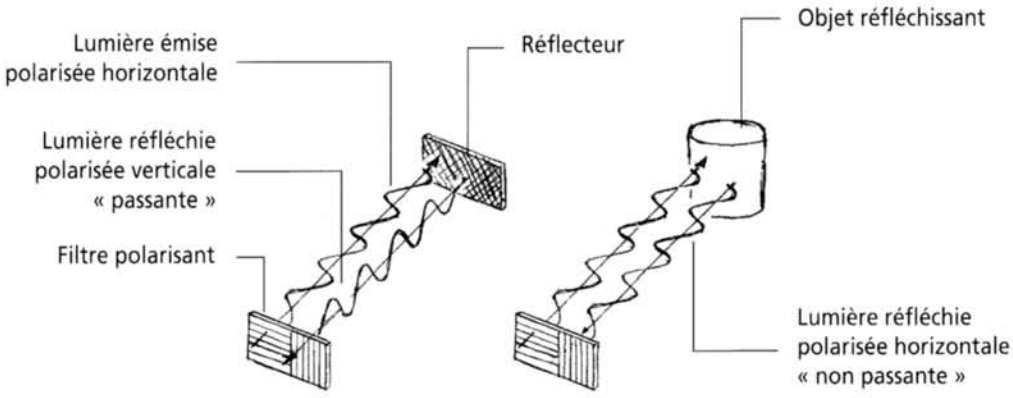


Figure 8.32 – Traitement antireflet.

■ Élimination de l'arrière-plan des cellules à réflexion directe

Dans le domaine de détection, un détecteur de proximité ne peut pas distinguer si la lumière est réfléchie par l'objet cible ou par un objet à l'arrière-plan. En général, ces détecteurs utilisent le principe de triangulation avec élimination de l'arrière-plan.

□ Élimination mécanique de l'arrière-plan

Le récepteur est une photodiode différentielle composée d'un élément de détection proche (diode ND) et d'un élément de détection éloignée (diode FD). Si l'objet s'approche du détecteur, la tache lumineuse détectée se déplace de la diode FD à la diode ND. Un comparateur identifie les deux signaux de réception et déclenche la commutation. En raison du faible angle d'incidence, la lumière réfléchie par des objets éloignés n'atteint pas la diode ND, il n'y a pas de commutation (figure 8.33).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

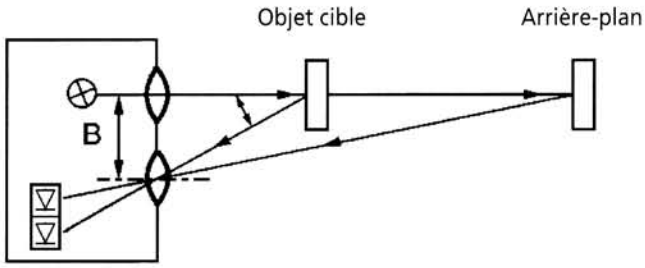


Figure 8.33 – Principe de triangulation.

La mise au point de ce système consiste à régler mécaniquement :

- le déplacement de la lentille de réception,
- la déviation d'un miroir,
- le déplacement de l'élément de réception.

□ **Élimination électronique de l'arrière-plan**

Ce système utilise l'élément électronique PSD (*position sensitive device*). Le domaine de détection est principalement déterminé par la largeur de la base B, la taille de l'élément PSD et la qualité des lentilles. Plus l'élément PSD est grand, plus le domaine de réglage de la portée est important.
La mise au point de ce système consiste à régler, à l'aide d'un potentiomètre ou de touches à membrane, l'amplification du courant de la diode ND qui détermine la limite entre l'élément de détection proche et l'élément de détection éloignée.

■ **Fonctions de sortie**

L'étage de sortie peut être soit PNP soit NPN et possède l'une des deux fonctions de sortie suivantes :

- NO : à fermeture ;
- NF : à ouverture.

■ **Protection contre les courts-circuits**

Lorsqu'il y a un dépassement de limite de courant, le système électronique de protection commute le détecteur : la sortie est périodiquement dans l'état bloqué et ensuite dans l'état passant jusqu'à ce que le court-circuit soit supprimé.

■ **Détecteurs pour zone explosible**

La fabrication, la transformation, le transport et le stockage de matière et de liquides inflammables peuvent engendrer la présence d'une atmosphère explosible. La commission de normalisation des techniques de mesure et de régulation de l'industrie chimique établit les recommandations pour l'installation

d'appareils en zone explosible (Ex). La consommation d'un détecteur de sécurité intrinsèque doit être suffisamment faible pour qu'il n'y ait pas de risque d'apparition d'étincelles, même en cas de défaut.
Les détecteurs optoélectroniques Namur sont des appareils électriques agréés de sécurité intrinsèque et peuvent être utilisés en zone Ex. Ces détecteurs doivent être raccordés à des amplificateurs situés en dehors de cette zone.

■ Temporisation

Certains détecteurs sont pourvus de réglages supplémentaires :

- retard à l'appel,
- retard à la retombe,
- fonction impulsion,
- prolongation des impulsions.

Ces réglages permettent de modifier le signal de sortie par rapport aux conditions d'entrée lorsqu'il s'agit de la détection des objets de taille très réduite ou en mouvement rapide ou lorsqu'il faut augmenter la tenue aux parasites.

8.4.3 Installation et réglages

■ Cellules en mode barrage

Le faisceau de lumière parcourt une seule fois le trajet ; le domaine de détection est donc relativement important.
Il est possible que les objets de taille réduite et les objets ayant une certaine transparence optique ne soient pas détectés. Le faisceau n'est pas totalement coupé. Normalement dans ces cas difficiles, la sensibilité est réglée au maximum.
Il faut alors placer l'objet dans le faisceau et diminuer la sensibilité avec le potentiomètre jusqu'à une certaine valeur pour assurer une bonne détection. Le réglage est contrôlé par la lumière de la diode luminescente.
Il existe des systèmes de barrière à émetteurs-récepteurs, comportant plusieurs faisceaux sur une hauteur de 102 mm à 1 829 mm. La taille de l'objet à détecter peut être de 19 à 32 mm avec une distance de séparation entre émetteurs et récepteurs de 9 m à 18 m (figure 8.34).

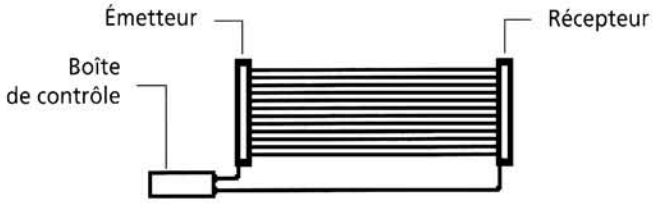


Figure 8.34 – Barrière optique.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ Cellules en mode reflex

□ Domaine de position du réflecteur

Si le réflecteur est installé trop près du détecteur (zone aveugle), le faisceau de lumière émis revient à l'émetteur et ne peut atteindre le récepteur ; la détection ne peut pas s'effectuer. Le réflecteur doit être placé dans son domaine.

□ Centrage du faisceau de lumière

Les cellules en mode reflex doivent être dirigées avec précision sur le réflecteur. Certaines cellules émettant un faisceau de lumière visible rouge facilitent le réglage de centrage. Le réglage consiste à ajuster les fixations des cellules ou des réflecteurs pour que l'orientation du faisceau tombe perpendiculairement et au centre du réflecteur.

On pourra utiliser un cache-réflecteur, fabriqué en papier, dont la dimension est celle du réflecteur qui peut être circulaire ou rectangulaire. La découpe circulaire a un diamètre égal à environ un tiers du diamètre du cercle ou un tiers de la largeur du rectangle.

Pour les cellules de lumière invisible, le réglage se fait à l'aide d'une feuille de papier. La face du réflecteur est occultée lentement par un déplacement latéral de la feuille de papier jusqu'à ce que la cellule commute. En répétant cette opération dans différentes directions, on vérifie que le degré de recouvrement est uniforme dans toutes les directions. L'orientation de la cellule est ainsi optimale (figure 8.35).

On veillera à ce qu'il n'y ait pas de risque de desserrage des fixations. L'utilisation des rondelles freins est nécessaire dans certains cas.

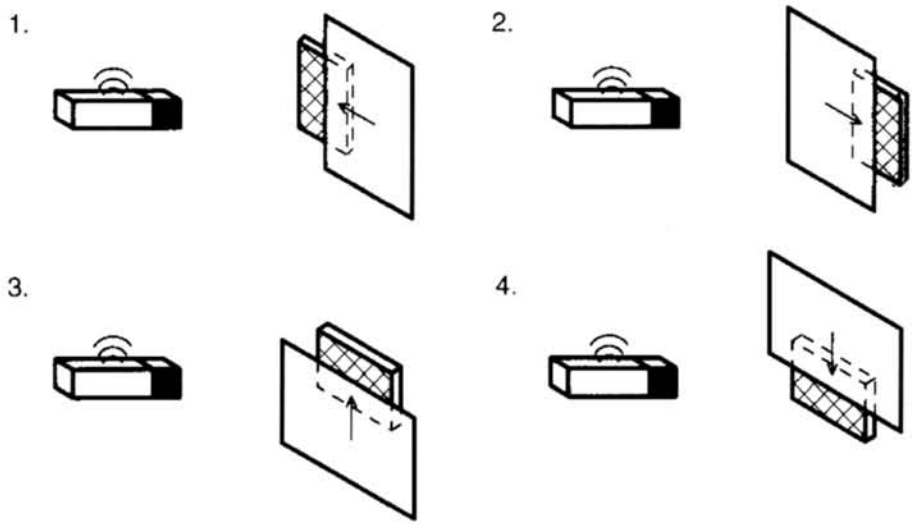


Figure 8.35 – Réglage de l'orientation de la cellule. (Schéma © Pepper & Fluschs)

□ Sensibilité de cellule

Il est aussi possible que les objets de petite taille ou les objets transparents ne soient pas détectés. Le réglage de sensibilité peut se faire en utilisant un petit réflecteur. Il faut choisir des détecteurs spéciaux pour les objets en verre transparent.

■ Cellules à réflexion directe

En général, ces cellules sont utilisées pour la détection d'objets réfléchissants diffusant le faisceau. La valeur de référence de distance de détection est donnée par rapport à une cible en papier blanc mat de 100 × 100 mm.
La capacité de réflexion de l'objet a une influence sur la diffusion des faisceaux, donc sur le domaine de détection. Le papier blanc mat représente 90 % de capacité de réflexion et seulement 5 % pour un papier noir mat.
Un potentiomètre de réglage de sensibilité permet un ajustage mécanique-géométrique du domaine de détection
En raison de la réflexion diffusée, une orientation grossière de la cellule dans la direction de l'objet est suffisante.

■ Détecteur à fibre optique

□ Montage

Respecter le rayon de courbure : R minimal = 12,5 fois le diamètre de la fibre ou $R \geq 15$ mm (figure 8.36).
Laisser une partie droite près de la douille ou de la tête :

- X = 20 mm pour fibre ∅ 2,2 mm
- X = 10 mm pour fibre ∅ 1 mm.

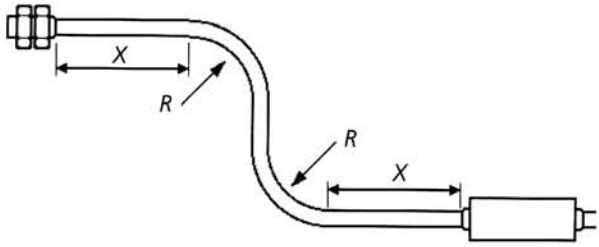


Figure 8.36 – Courbure des fibres optiques.

□ Précautions pour les fibres en matière plastique

Les fibres optiques en matière plastique peuvent être coupées avec un cutter spécial, à toute longueur souhaitée. Chaque ouverture de coupe ne doit servir qu'une seule fois. Le bout de la fibre ne doit pas être abîmé et doit présenter une coupe franche pour assurer un bon contact avec l'élément optique. Les fibres ne

doivent pas être torsadées, ni pliées ni tirées. Il faut éviter le contact avec de l'essence ou des solvants organiques (figure 8.37).

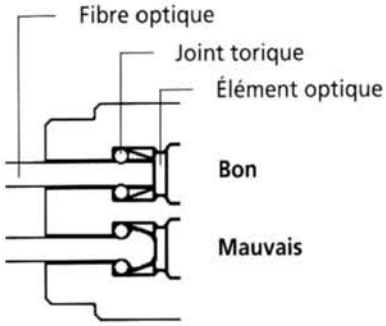


Figure 8.37 – Montage des fibres optiques en matière plastique.

■ **Exemples d'application**

□ **Détection par barrage standard ou barrage reflex**

Limite d'une zone de sécurité ou de protection.

□ **Détection à réflexion directe**

- Positionnement du circuit imprimé.
- Détection de marquage.
- Contrôle de présence d'étiquette ou plaque signalétique.
- Reconnaissance d'inversion des pièces.
- Détection de bouchon.

8.4.4 Maintenance préventive

■ **Nettoyage**

Un encrassement relativement important et à peine visible peut diminuer l'intensité du faisceau lumineux de plus de la moitié et réduire la portée ou perturber le fonctionnement de détection.

Le nettoyage avec un chiffon propre et sec est à faire régulièrement, sans attendre le signalement de la LED de contrôle de la portée ni de la LED de contrôle du signal de sortie.

■ **Contrôle de l'état**

Il s'agit de contrôler :

- l'état physique des éléments de détection (cellule émettrice, cellule réceptrice, réflecteur et fibre optique) ;
- l'état des fixations, des câbles et des protections ;
- la mise au point éventuelle.

8.5 Détecteur ultrasonique

8.5.1 Principes

Le fonctionnement des détecteurs ultrasoniques repose sur l'utilisation des ultrasons. L'ultrason est une onde acoustique dont la fréquence est trop élevée pour être audible par l'être humain. On crée des ultrasons grâce à l'effet piézo-électrique. Certains matériaux tels que le quartz ont la propriété de vibrer quand on leur applique une tension.
Lorsque le détecteur est alimenté, l'élément piézo-électrique se met à vibrer, d'où l'apparition d'une onde de fréquence de l'ordre de 200 kHz. La vibration est transmise à l'air ambiant à travers la face avant du capteur. Cette face est en céramique.

■ Détection en mode de diffusion

L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier. L'émetteur envoie un train d'ondes qui va se réfléchir sur la cible et revenir ensuite au récepteur. Le temps de parcours (aller-retour) permet de déterminer la distance de l'objet par rapport à la source (figure 8.39).

- Après l'émission d'un train d'ondes, le capteur passe en mode réception et attend le retour du signal (écho).
- Si le signal de retour arrive avant 20 ms (temps de cycle), l'électronique du capteur détermine la distance où se situe l'objet en fonction du temps d'aller-retour du signal. Et il y a une commutation du signal de sortie.
- Si aucun signal ne revient après 20 ms, le détecteur repasse en mode émission et renvoie une salve d'ondes.

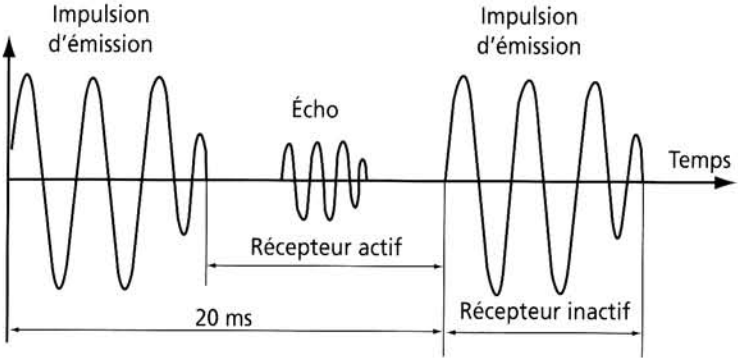


Figure 8.39 – Impulsions ultrasoniques.

■ Détection en mode barrage

L'émetteur et le récepteur sont séparés l'un de l'autre. Le récepteur capte en permanence les ondes émises par l'émetteur. Il y a une commutation lorsqu'un objet se présente entre l'émetteur et le récepteur, et interrompt les ondes ultrasoniques.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Ce système a l'avantage de permettre une fréquence de travail élevée car il n'y a pas de période d'attente pour la réception du signal émis.

8.5.2 Caractéristiques

■ Détection en mode diffusion

Les détecteurs ultrasoniques sont utilisés principalement en mode diffusion.

□ Zone morte

Un objet situé juste en face du détecteur ne peut être détecté. Il s'agit de la zone morte dans laquelle les objets à détecter ne doivent pas se présenter.

□ Zone de détection

La zone de détection contient deux zones de commutation en dehors desquelles l'objet peut être détecté sans qu'il y ait de commutation. Les deux zones de commutation sont réglables au moyen de deux potentiomètres (figure 8.40).
Le début de la première zone de commutation est limité par la zone morte. Le potentiomètre S_1 ajuste la fin de la première zone de commutation.
Le début de la deuxième zone de commutation correspond à la fin de la première zone. Le potentiomètre S_2 ajuste la limite éloignée de la deuxième zone de commutation.
Les signaux de sortie sont déclenchés selon les limites des deux zones de commutation.

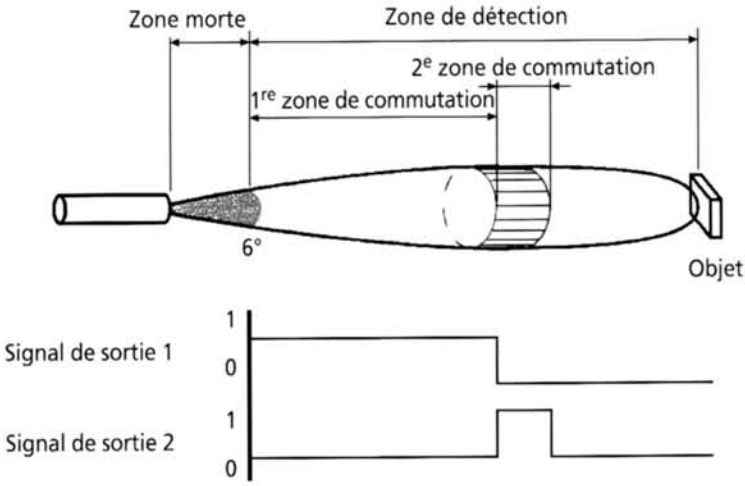


Figure 8.40 – Zones de détection et de commutation.

□ Angle sonique

C'est l'angle de cône du lobe de l'émission des ondes soniques. Cette caractéristique se présente sous trois gammes de détecteurs :

- détecteurs à cône aigu : l'angle sonique est approximativement de 6° ;
- détecteurs à cône moyen : l'angle sonique est compris entre 12 et 15° ;
- détecteurs à large cône : l'angle sonique est de 60°.

■ Fonctions de sortie

L'étage de sortie peut être soit de type PNP soit de type NPN et possède l'une des deux fonctions de sortie suivantes :

- NO : à fermeture ;
- NF : à ouverture.

L'intensité et la tension de sortie sont fonction de la distance entre le détecteur et la cible (figure 8.41).

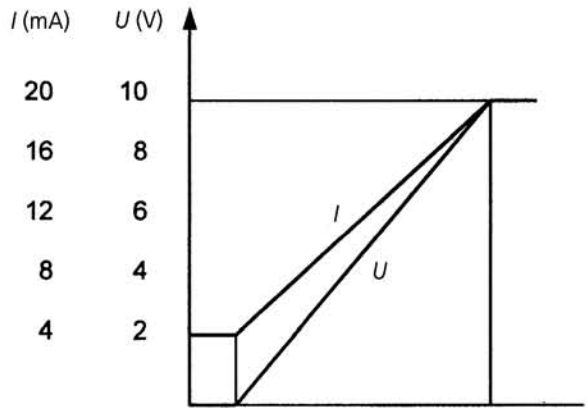


Figure 8.41 – Courbe de réponse.

■ Conditions d'utilisation

□ Environnement

Les détecteurs ultrasoniques sont conçus pour l'utilisation dans l'air ambiant. Le réglage de sensibilité est nécessaire pour une utilisation dans le milieu gazeux.
La température de l'air et l'humidité influencent la durée de l'impulsion. Une augmentation de température ambiante de 20 °C entraîne une variation de distance de détection jusqu'à 3,5 %, tandis que la distance de l'objet semble diminuer. Une augmentation d'humidité aboutit à une augmentation de la vitesse du son de 2 % maximum.
Une variation de pression atmosphérique de ± 5 % entraîne une modification de la portée d'environ ± 0,6 %.
Le courant d'air influence le temps de retour du signal. Cependant il n'est pas conseillé d'utiliser le détecteur ultrasons lorsque la vitesse du courant d'air est supérieure à 10 m/s car la distorsion des ondes rend les échos difficilement interprétables.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Le signal n'est pas influencé par la poussière, les environnements brumeux, la pluie ou la neige. Mais il faut quand même éviter de mouiller le détecteur et choisir un degré de protection approprié au milieu.

□ **Objets à détecter**

Les cibles peuvent être transparentes, colorées, métalliques, non métalliques, solides, liquides ou poudreuses.
La portée de détection est très réduite pour des objets absorbant les ondes soniques tels que la ouate, le feutre et les textiles…
Il faut éviter des objets dont l'angle d'inclinaison est trop grand car le signal risque de ne plus revenir, ce qui rendrait la détection impossible.
La température de l'objet a une influence sur la détection : une surface chaude réfléchit moins les faisceaux soniques qu'une surface froide.

□ **Voisinage**

Pour la détection en mode diffusion, certaines distances sont à respecter rigoureusement (figure 8.42) :

- la distance *e* entre deux détecteurs face à face,
- la distance *f* entre deux détecteurs côte à côte,
- la largeur *g* du logement de protection,
- la distance *h* à un mur de voisinage.

Les valeurs de ces distances sont données par le constructeur en fonction du type des détecteurs.

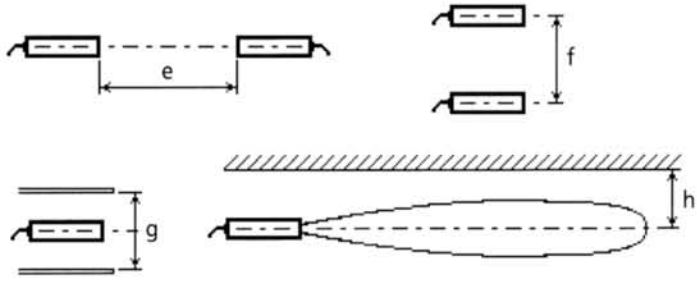


Figure 8.42 – Distances de voisinage.

8.5.3 Maintenance préventive

■ **Contrôle de l'état**

Il s'agit de contrôler :

- l'état physique des éléments de détection (cellule émettrice, cellule réceptrice) ;

- l'état des fixations, des câbles et des protections ;
- la mise au point éventuelle.

8.6 Codeur optique

8.6.1 Principe de fonctionnement

Le codeur est un détecteur capable de renseigner en temps réel la position et le déplacement d'un objet mobile. Il mesure une distance ou un angle de rotation.
Le codeur rotatif est un capteur de position angulaire. Accouplée mécaniquement à un arbre, la rotation de son axe fait tourner un disque comportant sur toute la circonférence une succession de parties opaques et de parties transparentes. Ce disque passe entre des diodes électroluminescentes (source de lumière) et des photodiodes réceptrices. En traversant successivement des parties opaques et transparentes, le rayon lumineux crée un signal analogique sur les photodiodes.
Certains codeurs utilisent le principe de la réflexion. Les lumières émises par les diodes électroluminescentes sont réfléchies par les graduations d'un disque vers les phototransistors qui se saturent et se bloquent à la cadence du défilement des graduations. Dans ce cas le disque comporte une succession de secteurs réfléchissants et absorbants.
Une interface électronique intégrée au codeur amplifie ce signal et le remet en forme en signal carré. Ce signal sera traité par la suite par les automates programmables ou par des commutateurs à cames électroniques.
Deux grandes familles de codeurs existent, qui se distinguent par les différentes conceptions de leur disque optique : codeur incrémental et codeur absolu.

■ Codeur incrémental

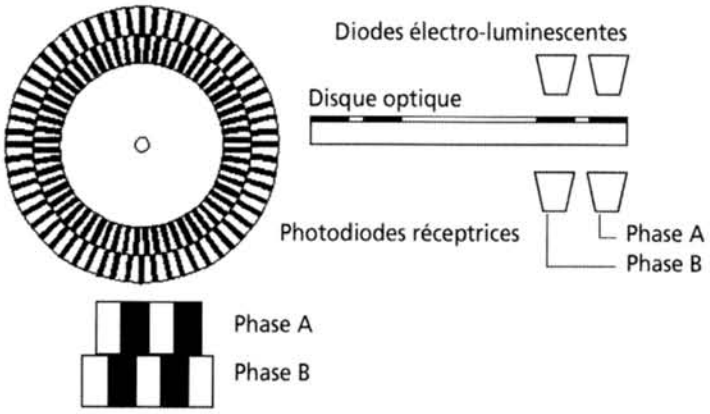


Figure 8.43 – Codeur incrémental.

□ Résolution du codeur

Le codeur incrémental est caractérisé par le nombre d'impulsions ou de « points » délivrés à chaque tour, par exemple un codeur à 500 points, pour 500 impulsions. Ces points servent de repère angulaire de rotation.
Plus le nombre de points est élevé, plus la précision est élevée et plus le codeur est coûteux. La résolution caractérise la précision du codeur. Sur le disque d'un codeur à 500 points, chaque transition 0-1 correspond à un angle de 360/500 = 0,72°.

□ Détermination du sens de rotation

Avec deux pistes de points sur le disque, on obtient deux signaux électriques A et B déphasés qui, par le traitement, permettent de connaître le sens de la rotation (figure 8.44).

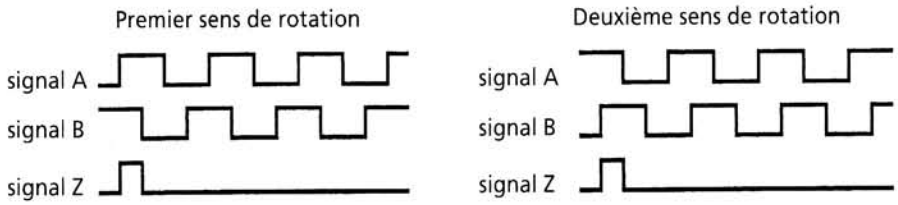


Figure 8.44 – Les signaux déphasés indiquent le sens de rotation.

□ Top de synchronisation

Le codeur incrémental délivre un troisième signal Z. Le top de synchronisation est une impulsion par tour dont la durée correspond à 90° électrique.

■ Codeur absolu

Le principe de fonctionnement optique est le même que celui du codeur incrémental, la différence se situant dans la forme des signaux délivrés et l'utilisation. Il emploie le principe des codes binaires qui sont de deux types : binaire pur ou naturel et binaire réfléchi ou code Gray.

□ Codeur à code binaire naturel

En partant du centre du disque, la première piste est composée d'une moitié opaque et d'une moitié transparente. La lecture de cette piste permet de déterminer dans quel demi-tour du disque on se situe. C'est la piste MSB (*most significant bit*) qui correspond au bit du poids le plus fort.
La piste suivante est divisée en quatre quarts consécutivement transparents et opaques. La lecture de cette piste permet de déterminer dans quel quart de tour on se situe.
Ensuite les autres pistes sont divisées en huit portions, puis en seize portions et ainsi de suite avec une progression de 2.

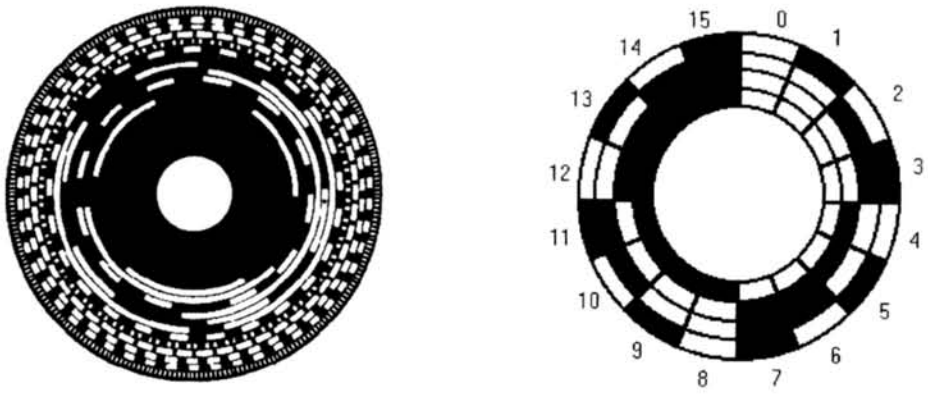


Figure 8.45 – Disque en code binaire.

La dernière piste, la plus à l'extérieur, est la piste LSB (*least significant bit*) correspondant au bit de poids le plus faible.
La lecture simultanée de toutes les pistes donne un code binaire représentatif de la position du disque dans le tour.
Si on appelle N le nombre de pistes, la dernière piste possédera 2^N points. C'est la valeur de la résolution du codeur.
Le codeur délivre un code binaire de N bits correspondant au nombre de pistes. Le câblage du codeur utilise donc N entrées de voies parallèles du système de traitement.

☐ Codeur à code Gray

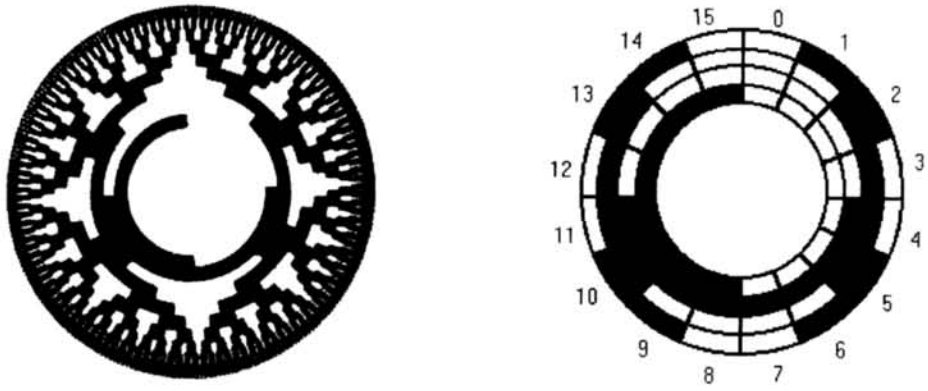


Figure 8.46 – Disque en code Gray.

La façon de concevoir les pistes est la même que celle du disque à code binaire naturel. La différence réside dans la disposition des trames.

La première piste en partant du centre est divisée en une partie opaque et une partie transparente.
La piste suivante en allant vers l'extérieur est la même que la première mais est disposée de manière à déphaser de 90° électrique.
Les pistes suivantes sont divisées en quatre parties alternativement opaques et transparentes, ensuite en huit portions, puis en seize portions et ainsi de suite.

8.6.2 Caractéristiques

■ Codeur incrémental

Le codeur incrémental est utilisé surtout dans les appareils à traitement de l'information entièrement numérique. Ses impulsions sont comptabilisées pour donner des informations concernant :

- la position : nombre d'impulsions délivrées depuis une position d'origine ;
- la vitesse : nombre d'impulsions par unité de temps.

■ Codeur absolu

Si plusieurs codeurs absolus sont utilisés, le nombre d'entrées du système de traitement demandé est très important. Pour limiter le nombre d'entrées utilisées, chaque codeur possède une entrée MX permettant de bloquer les signaux de sortie lorsqu'il reçoit un signal d'inhibition émis par le système de traitement.
Il est alors possible de raccorder plusieurs codeurs sur les mêmes entrées du système de traitement. Le seul codeur actif est celui qui ne reçoit pas le signal d'inhibition MX.
Son principal avantage est de donner une information de position absolue, alors que le codeur incrémental donne la position relative, c'est-à-dire par rapport à une position initiale. L'information d'un tour de rotation est donnée par le décodage des signaux.

■ Code binaire et code Gray

Le code binaire naturel a l'avantage d'être utilisé directement par une unité de traitement. Ce code pondéré permet d'effectuer les quatre opérations arithmétiques.
Cependant le code binaire présente l'inconvénient d'avoir plusieurs niveaux bas qui changent d'état entre deux positions. Le disque à code binaire demande une grande précision de fabrication pour repérer des changements d'état d'une façon rigoureuse. Il peut générer des erreurs si la lecture est effectuée au moment d'un changement d'état imparfait (figure 8.47).
Pour corriger ce défaut, certains codeurs sophistiqués délivrent un signal d'inhibition afin de bloquer instantanément les sorties à chaque changement d'état. La durée du top de ce signal est de 4 µs ± 1.
Le code binaire réfléchi ou code Gray ne présente pas cet inconvénient car un seul bit à la fois change d'état.
Mais ce code non pondéré ne peut pas être directement exploité par l'unité de traitement et demande un transcodage binaire réfléchi/binaire naturel avant d'être utilisé.

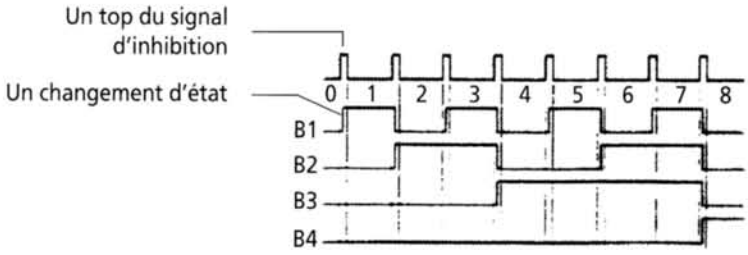


Figure 8.47 – Signaux du codeur binaire naturel.

8.6.3 Utilisations

■ Asservissement de rotation

Dans la pratique un codeur rotatif est monté sur un arbre au moyen d'un accouplement dit « de précision ».
Ces accouplements sont rigides en torsion, mais permettent de corriger les défauts d'alignement. Il en existe plusieurs types de taille miniature : accouplement à soufflet (figure 8.48), accouplement hélicoïdal, accouplement à disque…



Figure 8.48 – Accouplement à soufflet.

Dans ce cas, le traitement de position est angulaire pour le mouvement d'un objet en rotation. Dans d'autres cas, un déplacement linéaire peut aussi être traité d'une manière angulaire (figure 8.49).

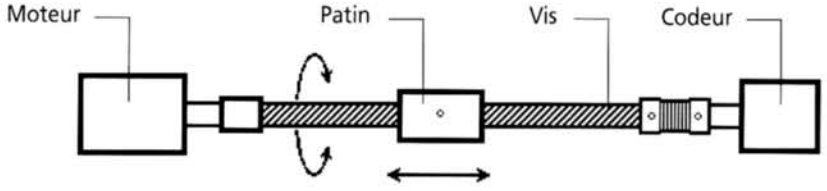


Figure 8.49 – Asservissement de rotation par un traitement angulaire pour un déplacement linéaire.

■ Asservissement de déplacement linéaire

Le mouvement linéaire de l'objet est effectué par un vérin. La crémaillère solidaire de ce déplacement fait tourner le disque du codeur par l'intermédiaire d'un galet denté (figure 8.50).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

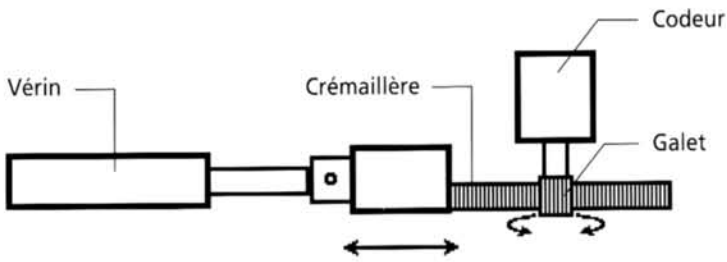


Figure 8.50 – Asservissement de déplacement linéaire par un traitement angulaire.

8.6.4 Maintenance préventive

L'entretien du codeur se résume à une surveillance quotidienne :
- contrôle de l'état des câbles, des protections, des fixations, etc. ;
- contrôle du serrage de l'accouplement ;
- contrôle du système d'entraînement ;
- graissage des vis de déplacement (graisseur sur le patin) ;
- nettoyage et lubrification de la crémaillère.

8.7 Codeur magnétique

8.7.1 Principe de fonctionnement

■ Codeur magnétique

Un aimant permanent en plastoferrite à haute énergie est directement solidaire de l'arbre du moteur. Celui-ci génère une onde magnétique captée par un détecteur à effet Hall. L'information est transformée en signal carré par un circuit électronique (figure 8.51).

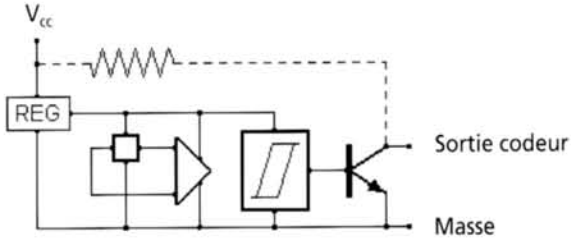


Figure 8.51 – Codeur magnétique.

■ Moteur à codeur intégré

Dans la pratique, tout le système est intégré dans un moteur et donne des informations sur la rotation de ce moteur (figure 8.52).

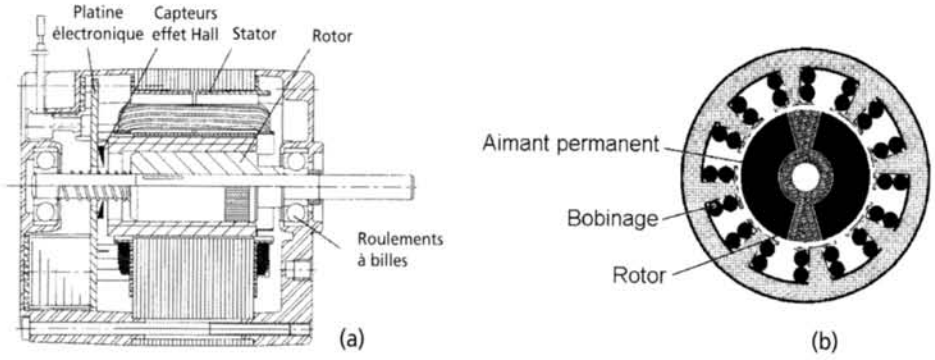


Figure 8.52 – (a) Moteur avec codeur intégré. (b) Position des aimants.

8.7.2 Caractéristiques

Le signal carré délivré possède la caractéristique $A/B = 50 \pm 20$ %.
Selon le modèle, les codeurs délivrent 5 à 12 impulsions par tour.

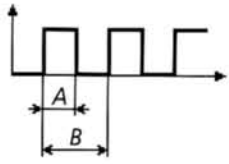


Figure 8.53 – Signal de sortie.

L'alimentation du codeur est séparée de celle du moteur :

$$Vcc\ (+) = 3{,}8 \text{ à } 24\ V - 25\ mA$$

■ Applications

En général ce type de moteur est de petite taille.

□ Moteur à 5 impulsions

- Dosage pour appareils alimentaires.
- Réglage de position pour accès automatisé.
- Servomoteurs.

□ Moteur à 5 ou 12 impulsions

- Positionnement de source de radiologie dentaire.
- Réglage de store vénitien.
- Dosage pour distributeurs de café.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

8.7.3 Maintenance préventive

La maintenance préventive consiste en la surveillance quotidienne de l'ensemble moteur.

- Vérification de l'état général : câbles, fixations.
- Vérification de propreté.

9.1 Production du froid

9.1.1 Principe de fonctionnement

■ Phénomène de refroidissement

La production de froid est basée sur le phénomène de l'évaporation d'un fluide frigorigène. Tout liquide qui s'évapore absorbe de la chaleur. Il y a donc un refroidissement de celui qui fournit cette chaleur.

Faisons une expérience (figure 9.1) : une bouteille contenant du liquide R134a est placée dans une ambiance de 20 °C. Si la vanne est ouverte sous une pression de 3,3 bar, le fluide s'échappe de la bouteille sous forme de vapeur. Et le liquide à l'intérieur se met à bouillir. On mesure une température de 10 °C sur la paroi de la bouteille.

Si le débit de fuite est réglé à 1 bar, l'ébullition est plus intense. La température de la paroi baisse jusqu'à –10 °C et le givre commence à se former.

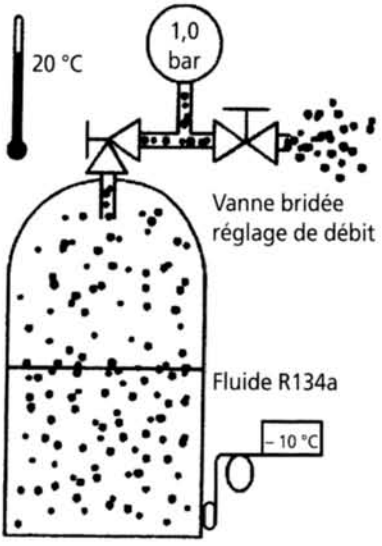


Figure 9.1 – Évaporation du fluide R134a.

■ Machine frigorifique à compression

La technologie frigorifique consiste à réaliser :

- l'évaporation ;
- la récupération ;
- le recyclage du fluide frigorigène.

Le fluide frigorigène se vaporise dans un évaporateur en enlevant de la chaleur au milieu extérieur ; un compresseur aspire les vapeurs formées et les refoule dans un condenseur refroidi, où elles se liquéfient ; un détendeur laisse passer le frigorigène liquide en abaissant sa pression (figure 9.2a).

■ Machine frigorifique à absorption

Dans ce type de machine, le frigorigène évolue entre la phase vapeur et la phase liquide comme dans la machine frigorifique à compression. Mais la compression mécanique est remplacée par le transfert entre une solution riche et une solution pauvre en frigorigène, obtenu par chauffage (figure 9.2b).

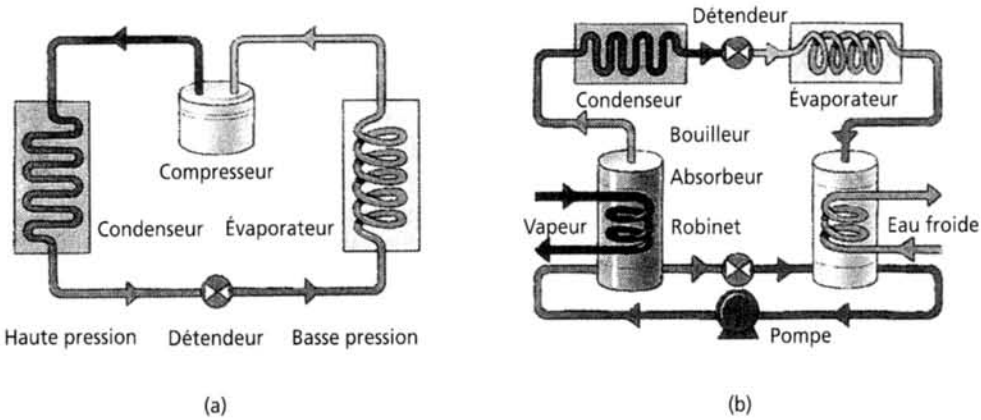


Figure 9.2 – Principe frigorifique (a) à compression et (b) à absorption. (Schémas © Larousse.)

■ Installation frigorifique type

L'installation, en circuit fermé, se compose des principaux éléments suivants (figure 9.3).

□ Évaporateur

C'est là où le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état gazeux en absorbant la chaleur de l'enceinte à refroidir.

□ Compresseur

Il aspire le fluide vaporisé dans l'évaporateur et le comprime afin de l'emmener à la pression de condensation.

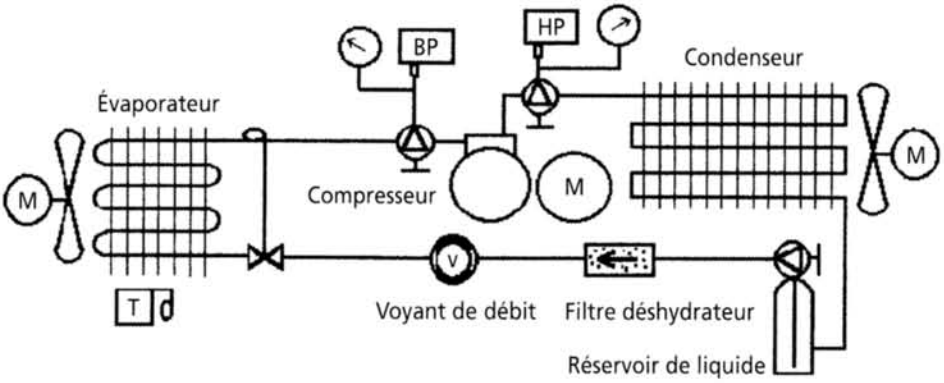


Figure 9.3 – Installation frigorifique type.

☐ **Condenseur**

La vapeur se condense et on obtient un liquide sous haute pression.

☐ **Détendeur thermostatique**

Il contrôle l'écoulement du réfrigérant et permet sa détente. Il régule le débit de façon à optimiser le remplissage de l'évaporateur permettant ainsi une production optimale de froid. Il empêche le compresseur d'aspirer le liquide.

☐ **Réservoir de liquide**

C'est un réservoir de réserve qui permet de compenser les variations de demande de débit du détendeur thermostatique.

☐ **Fluide frigorigène**

Le fluide frigorigène a pour rôle d'assurer le transfert thermique entre l'évaporateur et le condenseur.

9.1.2 Caractéristiques

■ **Condenseurs**

☐ **Définitions**

En sortant du compresseur, la vapeur de R404a arrive à l'entrée du condenseur avec une pression de 17 bar (HP). La condensation commence à 39 °C et on obtient à la sortie un liquide HP de 17 bar et de 34 °C qui va alimenter l'évaporateur à travers le détendeur thermostatique.
On définit pour le fluide :

Sous-refroidissement = Température de condensation – Température de sortie de condenseur

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

On dit que le fluide est sous-refroidi de 5 °C (39 – 34).
Deux médias peuvent être utilisés pour le refroidissement : l'air ou l'eau.
Pour un condenseur à air, l'air arrivé à une température de 25 °C s'échauffe à 31 °C en prenant la chaleur dégagée par le fluide frigorigène.
On définit :

$$\Delta T_{air} = T_{as} - T_{ae} = 31 - 25 = 6\ °C$$

$$\Delta T_{total} = T_{k} - T_{ae} = 39 - 25 = 15\ °C$$

avec T_{as} la température de l'air sortant du condenseur, T_{ae} la température de l'air entrant au condenseur et T_{k} la température de condensation lue au manomètre HP. HP = 17 bar, ce qui équivaut pour le R404a à T_{k} = 39 °C.

– Pour un condensateur à air :

$$5 \leq \Delta T_{air} \leq 10\ °C$$

$$10 \leq \Delta T_{total} \leq 20\ °C$$

– Pour condensateur à eau :

$$10 \leq \Delta T_{eau} \leq 15\ °C$$

$$10 \leq \Delta T_{total} \leq 20\ °C$$

□ Types de condenseurs

– Condenseur à ventilation forcée verticale : en général il possède un seul ventilateur.
– Condenseur à ventilation forcée horizontale : il peut avoir plusieurs ventilateurs.
– Condenseur à eau vertical : il se présente sous forme d'un ballon et est utilisé pour la construction de l'armoire de conditionnement d'air et de pompe de chaleur. Il offre une possibilité de stockage du fluide frigorigène.
– Condenseur à eau à doubles tubes concentriques : il est constitué de deux tubes enfilés l'un dans l'autre.
– Condenseur à eau multitubulaire : il est utilisé dans les domaines de réfrigération industrielle, conditionnement d'air, pompe à chaleur…

■ Évaporateur

□ Définitions

Le liquide frigorigène, à une température de 30 °C sous une pression de 14 bar, arrive à l'entrée du détendeur. Celui-ci fait baisser cette pression de 5 bar. En absorbant de la chaleur, le fluide s'évapore. La pression et la température sont constantes à 5 bar et 0 °C (caractéristique du fluide R404a).
À la sortie de l'évaporateur la température du bulbe du détendeur est de 6 °C. La vapeur est surchauffée de 6 °C.

L'air arrive sur l'évaporateur à une température de 8 °C, il se refroidit jusqu'à 4 °C. On définit :

$$\Delta T_{\text{total}} = T_{\text{ae}} - T_0 = 8 - 0 = 8\ °\text{C}$$

avec T_0 la température d'évaporation lue au manomètre BP ($T_0 = 0$ °C).
Dans les applications courantes avec les évaporateurs à air, on a :

– en climatisation :

$$6 \leq \Delta T_{\text{air}} \leq 10\ °\text{C}$$

$$16 \leq \Delta T_{\text{total}} \leq 20\ °\text{C}$$

– en froid industriel :

$$3 \leq \Delta T_{\text{air}} \leq 5\ °\text{C}$$

$$6 \leq \Delta T_{\text{total}} \leq 10\ °\text{C}$$

□ Types d'évaporateurs

Pour la climatisation on distingue divers types d'évaporateurs : mural, plafonnier, à plaque eutectique, frigorifère à buse.

■ Détendeurs thermostatiques

□ Détendeur à égalisation de pression interne

Il est utilisé pour les installations de faible puissance (figure 9.4a). On définit :

– la force d'ouverture F_1 qui est l'action de la pression du fluide du bulbe sur la membrane ;
– la force de fermeture F_2 qui est la somme de la force de poussée du ressort et la force exercée par la pression d'évaporation.

$F_1 = F_2$ détendeur en équilibre

$F_1 > F_2$ ouverture du détendeur

$F_1 < F_2$ fermeture du détendeur

L'ouverture et la fermeture se font au niveau du clapet.

□ Détendeur à égalisation de pression externe

Il est utilisé pour les installations de forte puissance (figure 9.4b). Ce type de détendeur permet de tenir compte de la perte de charge de l'évaporateur.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

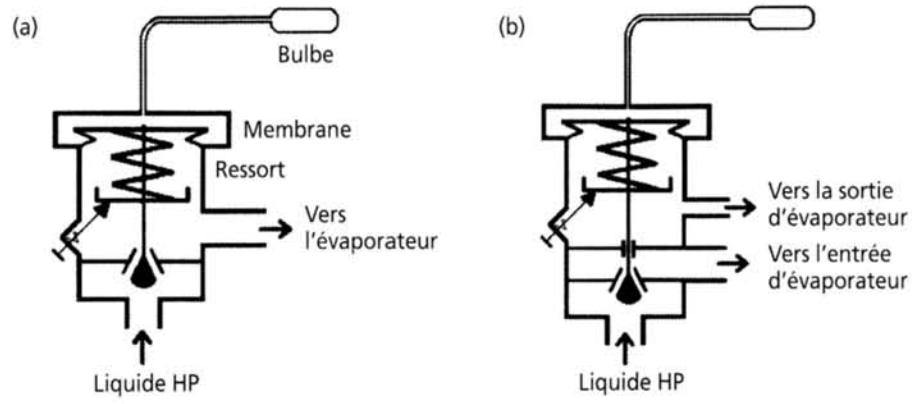


Figure 9.4 – Détendeur à égalisation (a) de pression interne et (b) de pression externe.

La surchauffe doit être réglée à une certaine valeur comprise entre 5 et 8 °C, le compromis entre la bonne puissance frigorifique et le risque de coup de liquide dans le compresseur. Ce réglage est normalement bien réglé à l'usine. On évite d'y toucher et il est conseillé de repérer le réglage initial.

□ **Détendeur avec limiteur de pression**

Il est généralement utilisé lors d'un risque de surcharge du compresseur à la mise en route.

■ **Déshydrateur**

C'est un filtre composé d'un tamis moléculaire, d'un mélange de gel de silice et d'oxyde d'aluminium activé. Son rôle est d'absorber l'humidité, les acides et les particules (les boues et produits de décomposition de l'huile). Il empêche la formation de glace au détendeur et la corrosion du circuit frigorifique.

■ **Réservoir de liquide**

Ce réservoir doit pouvoir contenir la capacité totale du fluide frigorigène nécessaire pour le bon fonctionnement de l'installation. Il est sous pression lorsque l'installation est en service. Cela permet au fluide de monter par le tube plongeur et de passer à travers une vanne de départ.

■ **Fluides frigorigènes**

Un fluide frigorigène est un composé chimique facilement liquéfiable, dont on utilise la chaleur latente de vaporisation pour produire du froid.

□ **Nomenclature**

Les fluides frigorigènes ou réfrigérants, d'après le standard ASHARE 34 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditionning Engineers) et la norme internationale ISO 817, sont désignés par la lettre R suivie d'un code.

Tableau 9.1 – Nomenclature des fluides frigorigènes.

Code	Signification	Exemple
R7xx	Composés minéraux xx : masse molaire	R717 : ammoniac M (NH_3) : 17 g/mol
R5xx	Mélanges azéotropiques xx : numéro d'apparition	R505 : R22 + R115
R4xx	Mélanges azéotropiques xx : numéro d'apparition	R404a
Rc..	Carbone – 1 (1 ou 2 carbones)	R22 : (c = 0) = 1 C R134a : (c = 1) = 2 C
R.d.	Hydrogène + 1	R22 : (d = 2) = 1 H R134a : (d = 3) = 2 H
R..u	Fluor	R22 : (u = 2) = 2 F R134a : (u = 4) = 4 F
Chlore : on complète avec du chlore en tenant compte de la valence du carbone		R22 : 1 C, 1 H, 2 F, 1 Cl R134a : 2 C, 2 H, 4 F
R... Bx halons (x = brome)		R12B1 : 1 C, 0 H, 2 F, 1 Br, 1 Cl

On peut les classer selon leur formule chimique :

- CFC : chlorofluorocarbonate,
- HCFC : hydrochlorofluorocarbonate,
- HFC : hydrofluorocarbonate.

□ Critères

Les fluides frigorigènes assurent le transfert thermique entre l'évaporateur et le condenseur. Leurs caractéristiques doivent respecter certains critères.

Critères de sécurité :

- non toxiques,
- ininflammables,
- non explosifs aux températures d'utilisation.

Critères thermodynamiques :

- pression d'évaporation supérieure à la pression atmosphérique,
- température critique supérieure aux températures de condensation,
- taux de compression faible pour obtenir de bons rendements volumétriques sur les compresseurs.

Critères techniques :

- non corrosifs sur les métaux,
- compatibles avec les élastomères et les plastiques,
- miscibilité avec l'huile permettant le retour au compresseur,
- aptitude à la détection des fuites.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

☐ Relation pression/température

Les tableaux 9.2 et 9.3 donnent les valeurs des pressions des mélanges liquide-gaz des principaux fluides frigorigènes en fonction des températures.

Tableau 9.2 – Valeurs des pressions des mélanges liquide-gaz des principaux fluides frigorigènes en fonction des températures.

Fluide	Pression (bar)											
	– 60 °C	– 55 °C	– 50 °C	– 45 °C	– 40 °C	– 35 °C	– 30 °C	– 25 °C	– 20 °C	– 15 °C	– 10 °C	– 5 °C
R22	– 0,64	– 0,51	– 0,37	– 0,19	0,05	0,31	0,65	1,02	1,50	2,00	2,55	3,25
R404a	– 0,76	– 0,68	– 0,55	– 0,40	– 0,12	0	0,28	0,60	1,00	1,45	2,00	2,60
R134a	– 0,82	– 0,72	– 0,70	– 0,60	– 0,47	– 0,31	– 0,12	0,10	0,35	0,68	1,00	1,50
R717	– 0,79	– 0,71	– 0,60	– 0,47	– 0,29	– 0,08	0,18	0,50	0,89	1,35	1,89	2,53
R12	– 0,82	– 0,77	– 0,62	– 0,51	– 0,38	– 0,20	– 0,12	0,10	0,50	0,80	1,20	1,60

Tableau 9.3 – Valeurs des pressions des mélanges liquide-gaz des principaux fluides frigorigènes en fonction des températures.

Fluide	Pression (bar)											
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C
R22	4,00	4,90	5,80	6,90	8,10	9,45	11,00	12,30	14,20	16,20	18,30	21,00
R404a	3,30	4,10	5,00	6,00	7,20	8,50	10,00	11,60	13,60	14,60	17,30	19,80
R134a	1,93	2,50	3,10	3,90	4,60	5,60	6,60	7,90	9,20	10,70	12,10	14,00
R717	3,28	4,13	5,13	6,26	7,55	9,00	10,65	12,48	14,52	16,80	19,31	*
R12	2,10	2,30	3,20	3,95	4,60	5,50	6,50	7,50	8,60	9,90	11,10	12,90

☐ Industrie alimentaire

Les utilisations actuelles des fluides R12, R502 et R22 dans l'industrie alimentaire peuvent être résumées comme suit.

- Réfrigération durant le transport : R502.
- Réfrigération unitaire de détail-étalage/entreposage : R12, R502, R22.
- Réfrigération centrale de détail-étalage/entreposage : R12, R502, R22.
- Conservation par le froid : R502.

- Entreposage frigorifique : R12, R22.
- Distributions automatiques réfrigérées : R12, R22.

□ Protocole de Montréal

Les CFC sont responsables de la destruction massive de l'ozone. Les HCFC le sont également, mais de façon moindre. Depuis le protocole de Montréal en 1987 :

- La production des CFC (R12, R502) doit s'arrêter au 1er janvier 1996 et son utilisation doit disparaître en 2000.
- La production des HCFC (R22) diminuera pour cesser totalement en 2020. Les HCFC peuvent servir à la transition mais leur utilisation devra être nulle en l'an 2030.
- Les HFC (R134a, HFC23), les mélanges de substitution (R404a), l'ammoniac (R717) et de nouveaux fluides à l'étude doivent remplacer les CFC et les HCFC d'ici l'an 2030.

La terminologie des fluides, utilisée dans la gestion pour l'élimination progressive des frigorigènes, se présente de la manière suivante (tableaux 9.4 à 9.6) :

- Frigorigène de transition : produit de remplacement à court et moyen terme qui sera lui aussi éliminé progressivement.
- Frigorigène à long terme : fluide qui ne connaît actuellement aucune restriction d'emploi comme remplaçant des CFC.
- Frigorigène d'appoint : frigorigène de type différent ; il peut être ajouté à l'équipement sans en retirer le frigorigène d'origine.
- Frigorigène de substitution : frigorigène de type différent ; il peut être ajouté à l'équipement mais après avoir retiré le frigorigène d'origine.
- Frigorigène de conversion : frigorigène de type différent ; il peut être employé, mais après d'importantes modifications à l'équipement.

Les données présentées dans les tableaux 9.7 à 9.9 établissent la comparaison du rendement de systèmes fonctionnant avec des frigorigènes de substitution par rapport à leur comportement avec le frigorigène d'origine. Il semble qu'avec les produits de substitution, les coefficients de performance (COP) soient généralement identiques, mais que les puissances de réfrigération aient tendance à être plus faibles pour des températures d'évaporation et de condensation identiques.

Tableau 9.4 – Terminologie des fluides.

Substituts du R12	Appellation frigorifique	Nom commercial
Substitution à long terme		
Substitution de transition	R405 R401a R401b	G2015 MP39 MP66
Conversion à long terme	R134a	
Conversion de transition	R22	

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Tableau 9.5 – Terminologie des fluides.

Substituts du R502	Appellation frigorifique	Nom commercial
Substitution à long terme		G2032
Substitution de transition	R402a R402b	HP80 HP81
Conversion à long terme	R407a R407b R507	Klea 60 Klea 61 AZ-50
Conversion de transition	R22	

Tableau 9.6 – Terminologie des fluides.

Substituts du R22	Appellation frigorifique	Nom commercial
Substitution à long terme		G2032
Substitution de transition		G2018b
Conversion à long terme	R407c R410a	AC9000 Klea 66 AZ-20
Conversion de transition		

Tableau 9.7 – Rendement des systèmes avec nouveaux frigorigènes par rapport au R12.

Appellation frigorigène	COP (%)	Puissance (%)	Conditions d'essai
R405	– 6	—	$T_e = -5$ °C $T_c = 40$ °C
R401a	– 1	+10	$T_e = -5$ °C $T_c = 40$ °C
R401b	– 1	+15	NA
R134a	– 2	– 6	$T_e = -8$ °C $T_c = 51{,}5$ °C
R22	– 2	—	$T_e = -5$ °C $T_c = 40$ °C

T_e : température d'évaporation. T_c : température de condensation.

Tableau 9.8 – Rendement des systèmes avec nouveaux frigorigènes par rapport au R502.

Appellation frigorigène	COP (%)	Puissance (%)	Conditions d'essai
R402a	– 2	+ 3	$T_e = -25$ °C $T_c = 40$ °C
R402b	+ 5	+ 1	$T_e = -25$ °C $T_c = 40$ °C
R407a	+ 6	– 2	$T_e = -25$ °C $T_c = 40$ °C
R407b	0	– 1	$T_e = -25$ °C $T_c = 40$ °C
R22	+ 7	– 5	$T_e = -25$ °C $T_c = 40$ °C

T_e : température d'évaporation. T_c : température de condensation.

Tableau 9.9 – Rendement des systèmes avec nouveaux frigorigènes par rapport au R22.

Appellation frigorigène	COP (%)	Puissance (%)	Condition d'essai
R407c	– 5	– 10	$T_e = 0$ °C $T_c = 38$ °C

T_e : température d'évaporation. T_c : température de condensation.

■ Huiles frigorifiques

Le choix des lubrifiants pour les compresseurs est fonction des types de fluides frigorifiques utilisés.

Tableau 9.10 – Lubrifiants pour compresseur.

Famille de lubrifiants	Origines	Sous-familles	Types de fluides frigorigènes
Minérales	Naturelles, issues de la distillation du pétrole brut	Naphténiques Paraffiniques selon la nature et la provenance du pétrole	CFC, HCFC, NH_3
Semi-synthétiques	Mélanges d'huiles minérales et synthétiques		CFC, HCFC, NH_3

Tableau 9.10 (suite) – Lubrifiants pour compresseur.

Famille de lubrifiants	Origines	Sous-familles	Types de fluides frigorigènes
Synthétiques	Chimiques	Alkybenzène (AB)	CFC, HCFC, NH_3
		Hydrocarbures : polyalphaoléfines (PAO)	CFC, HCFC, NH_3
		Hydrocarbures : polyalkylènes glycols (PAG)	R134a en climatisation automobile NH_3 pour certains compressoristes
		Esters : polyolesters (POE)	HFC

9.2 Groupe frigorifique industriel

9.2.1 Constitution

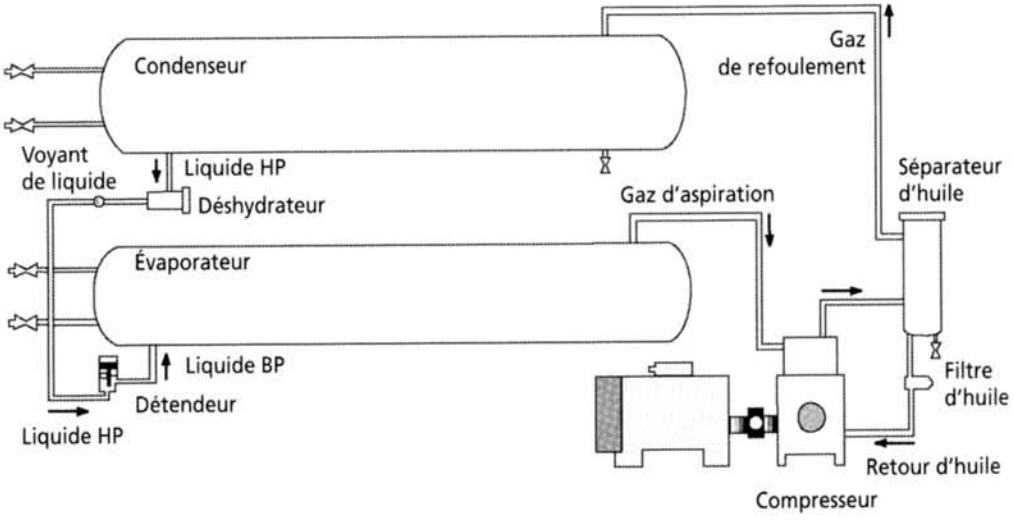


Figure 9.5 – Groupe froid industriel.

■ Condenseur

Le condenseur est un échangeur thermique. En cédant de la chaleur à l'eau qui circule dans les tubulaires, le gaz haute pression de refoulement du compresseur se condense et se transforme en liquide haute pression.

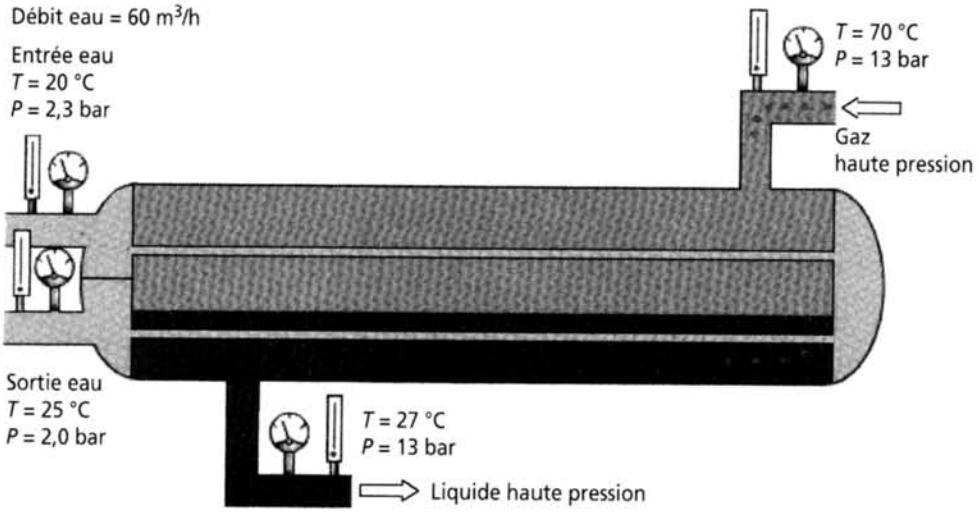


Figure 9.6 – Condenseur à faisceaux tubulaires.

■ Détendeur thermostatique

Il existe trois types de détendeurs :

- détendeur à égalisation de pression interne ;
- détendeur à égalisation externe ;
- détendeur à limiteur de pression (MPO pour *maximum operating pressure*).

■ Évaporateur

Le fluide basse pression s'évapore et se transforme en gaz basse pression. De l'autre côté, l'évaporateur est alimenté par une circulation d'eau qui se refroidit sous l'effet de l'évaporation. Certains processus utilisent du mélange de saumure (eau + $CaCl_2$) pour alimenter l'évaporateur et préparer de l'eau froide.

■ Accessoires

□ Séparateur d'huile

L'appareil sépare l'huile et le fluide frigorigène refoulés par le compresseur (figure 9.7).

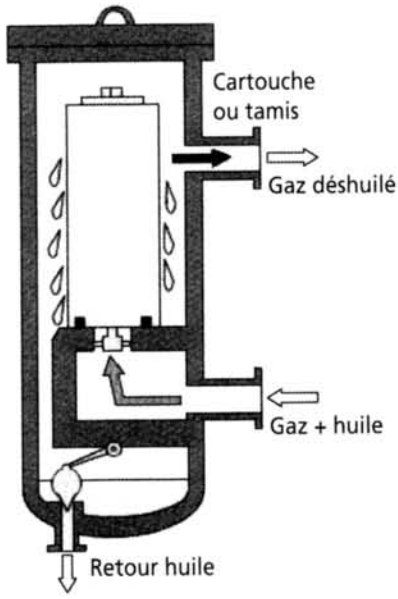


Figure 9.7 – Séparateur d'huile

Dans un séparateur simple étage, l'huile récupérée est réintégrée au carter d'huile du compresseur. Un flotteur limite l'entrée de gaz haute pression dans le carter d'huile.
Dans un séparateur double étage, l'huile contenue dans le fluide frigorigène tombe par gravité dans le premier étage. L'huile récupérée par les cartouches est réintégrée à l'aspiration du compresseur. Les vapeurs d'huile sont collectées au travers de cartouches coalescentes dans le deuxième étage.

☐ Déshydrateur

Il est composé d'un mélange optimal de gel de silice, d'oxyde d'aluminium activé et d'un tamis moléculaire. On utilise des filtres déshydrateurs de 5 à 20 µm pour réduire la teneur en particules et éviter les dommages à la surface des garnitures mécaniques d'étanchéité et aux autres pièces de compresseur. L'installation d'un voyant d'indicateur du degré d'humidité est fortement conseillée.

☐ Filtres

Dans l'ensemble du groupe frigorifique industriel, les filtres peuvent être utilisés dans plusieurs positions.

- Au compresseur : filtre d'aspiration, filtre huile carter, filtre injection liquide, filtre sortie pompe à huile.
- À l'évaporateur : filtre de détendeur, filtre de retour d'huile, filtre pompe fluide.
- Au condenseur/séparateur : filtre coalescent, filtre retour huile, filtre déshydrateur, filtre pompe fluide.

□ Résistances chauffantes

Les résistances sont utilisées pour chauffer l'huile ou dégivrer le circuit afin d'éviter les condensations intempestives et de garder le circuit hors gel :

- résistance carter,
- résistance séparateur,
- résistance bac d'eau,
- résistances cordons chauffants,
- résistance de dégivrage.

9.2.4 Compresseur

■ Compresseurs à piston

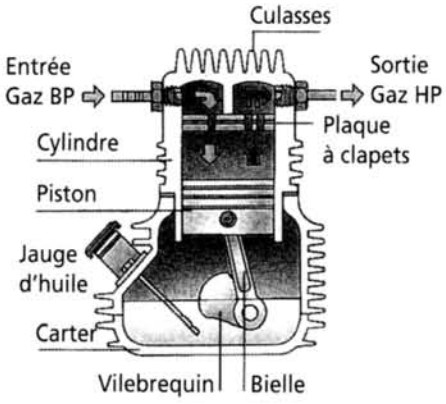


Figure 9.8 – Compresseur à piston. (Schéma © Larousse.)

Les compresseurs à piston sont de deux catégories :

- les monoétagés,
- les biétagés.

Ils peuvent être distingués en sous-catégories :

- ouverts,
- semi-hermétiques,
- hermétiques.

Les principaux composants sont :

- le carter,
- le cylindre,
- le vilebrequin,
- la culasse,
- la bielle,
- la plaque à clapets,
- le piston,
- la garniture d'étanchéité de l'arbre.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ **Compresseurs à vis**

Les compresseurs à vis sont de deux catégories :

- les monovis,
- les bivis.

Ils peuvent être distingués en sous-catégories :

- les monoétagés,
- les biétagés.

■ **Turbocompresseurs**

□ **Turbo monoroue**

Le principe du turbocompresseur est d'emporter le gaz par une roue à très grande vitesse et de la faire chuter brutalement :

- il utilise le système de multiplicateurs (interne ou externe) pour élever la vitesse de rotation jusqu'à 7 000 voire 14 000 tr ;
- la chute brutale de vitesse s'obtient par une augmentation rapide du volume dans un diffuseur en escargot ou un diffuseur à ailettes.

L'augmentation de la vitesse fournit de l'énergie cinétique au gaz. Cette énergie se transforme en pression statique lors de la chute brutale de la vitesse.

□ **Turbo multiroue**

Basé sur le même principe que le turbo monoroue, il est constitué d'une succession de roues. La première roue refoule dans la seconde, et la seconde dans la troisième...

□ **Compresseur centrifuge**

Un compresseur centrifuge comporte une ou plusieurs roues garnies d'aubage, qui tournent à vitesse élevée. Le gaz entraîné dans ces aubages y prend une certaine vitesse et sort perpendiculairement à l'axe de la roue avec une pression élevée.

9.2.5 Précautions particulières

Certaines précautions particulières sont à prendre vis-à-vis des fluides frigorigènes utilisés.

■ **Fluide R22 ($CHClF_2$)**

□ **Risques**

- Toxicité : dangereux à haute dose (10 %).
- Décomposition en présence d'une flamme en phosgène (gaz asphyxiant très dangereux).
- Inexplosible et ininflammable.

□ **Règles de sécurité**

- Interdiction de rejet à l'atmosphère.
- Mise en œuvre d'un plan de prévention sécurité et de protection de la santé.

- Utilisation d'une tenue de travail en coton et de protections individuelles (chaussures de sécurité, gants, lunettes de protection).
- Utilisation d'un groupe de transfert pour les interventions importantes et d'une bouteille de transfert pour les petites interventions.
- Interdiction d'usage d'un objet à flamme et présence d'un extincteur durant l'intervention.
- Balisage de la zone d'intervention.

■ Fluide R134a ($C_2H_2F_4$)

□ Risques

- Décomposition thermique en produit toxique et corrosif : fluorure d'hydrogène (acide fluorhydrique), oxydes de carbone.
- Le produit gazeux en présence d'air peut former, dans certaines conditions de température et de pression, un mélange inflammable.

□ Précautions

- Tenir à l'écart de la chaleur et des sources d'ignition.
- Éviter le contact avec les flammes et les surfaces métalliques portées au rouge.
- Matières à éviter : hydroxydes alcalins, métaux alcalino-terreux, oxydants puissants, métaux finement divisés.

■ Fluide R717 (NH_3)

□ Risques

- Toxicité : mortel à faible dose (0,5 %).
- Mélange explosif avec de l'huile sous forte pression.
- Mélange explosif avec de l'air sous certains pourcentages.
- Inflammable en présence d'air.
- Attaque le cuivre et ses alliages.

□ Règles d'usage

- Mise en œuvre d'un plan de prévention sécurité et de protection de la santé.
- Utilisation d'une tenue de travail en coton et de protections individuelles : chaussures de sécurité, gants de protection anti-acide, masque à cartouches pour des petites interventions (par exemple, réparation de fuite légère, remplacement de filtre).
- Utilisation d'une combinaison étanche et d'un appareil respiratoire pour des interventions importantes (par exemple, démontage du compresseur).
- Travail accompagné obligatoire (au minimum deux personnes).
- Disponibilité d'un poste de rinçage de l'œil, de douche et d'un coffret pharmaceutique.
- Interdiction d'usage d'un objet à flamme et présence d'un extincteur durant l'intervention.
- Balisage de la zone d'intervention.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

■ **Fluide R12 (CF_2Cl_2)**

□ **Risques**

- Toxicité : dangereux à haute dose (30 %).
- Décomposition en présence d'une flamme en phosgène (gaz asphyxiant très dangereux).
- Attaque le magnésium et ses alliages.
- Inexplosible et ininflammable.

□ **Règles de sécurité**

- Interdiction de rejet à l'atmosphère.
- Mise en œuvre d'un plan de prévention sécurité et de protection de la santé.
- Utilisation d'une tenue de travail en coton et de protections individuelles (chaussures de sécurité, gants, lunettes de protection).
- Utilisation d'un groupe de transfert pour les interventions importantes et d'une bouteille de transfert pour les petites interventions.
- Interdiction d'usage d'un objet à flamme et présence d'un extincteur durant l'intervention.
- Balisage de la zone d'intervention.

■ **Fluide de substitution**

La charge doit s'effectuer en phase liquide.
Un système ayant contenu un CFC ou un HCFC ne peut en aucun cas être rechargé avec un HFC sans avoir pris un certain nombre de précautions

■ **Montage du déshydrateur**

Une flèche indique le sens de passage du fluide. Il faut maintenir le déshydrateur obturé jusqu'au moment du montage.

■ **Arrêt prolongé**

Pendant un long arrêt, il est important de faire fonctionner une ou deux fois par semaine la pompe de lubrification en vue de lubrifier toutes les pièces mobiles. Les surfaces des bagues de presse-étoupe doivent rester lubrifiées afin d'empêcher toute fuite.

9.2.6 Maintenance préventive

■ **Surveillance quotidienne**

□ **Surveillance des paramètres**

Vérification hebdomadaire :

- pression de refoulement du compresseur ;
- pression d'aspiration du compresseur ;
- pression d'huile de lubrification ;
- vérification de fuite de garniture.

Si la fuite est importante, la garniture est à remplacer. Consulter le débit de fuite prescrit par le constructeur.
Vérification mensuelle :

- température de refoulement ;
- température d'aspiration ;
- température d'huile ;
- température de l'eau en sortie de condenseur (effectuer une purge du condenseur si la température de refoulement est égale à celle de l'eau en sortie de condenseur) ;
- intensité consommée.

Vérifications diverses :

- fuite de la garniture de la pompe de lubrification ;
- fuites diverses (gaz ou eau) ;
- graissage des paliers du moteur du compresseur (la périodicité dépend des roulements) ;
- contrôle du niveau d'huile du carter du compresseur.

□ Vérification de l'humidité du fluide frigorigène

Cette vérification se fait en observant la couleur du voyant de liquide placé après le déshydrateur. La couleur verte signale que la quantité d'eau contenue dans le fluide est inférieure à la quantité d'eau maximale admissible, la couleur jaune signale les effets nuisibles provenant de l'humidité. Remplacer le filtre déshydrateur dès l'apparition de la couleur jaune.
Un manque de fluide ou de sous-refroidissement se signale par des bulles dans le liquide en circulation.

■ Entretien 3 000 heures

Prise d'échantillon d'huile pour l'analyse (effectuer la vidange en fonction du résultat).

■ Entretien 6 000 heures

□ Compresseur

- Nettoyer la crépine d'aspiration de gaz.
- Nettoyer et contrôler l'état du tamis d'injection (compresseur à vis).
- Remplacer le filtre d'huile.
- Contrôler l'alignement de l'accouplement.
- Contrôler l'état des éléments électriques et les consignes de sécurité.

□ Condenseur

- Remplacer le filtre déshydrateur.
- Remplacer le filtre de retour d'huile.
- Isoler le compresseur et le séparateur (éventuellement le réservoir) et purger soigneusement le réfrigérant (vanne de purge).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

□ **Évaporateur**

- Remplacer le filtre de retour d'huile.
- Nettoyer et contrôler l'état du filtre détendeur.

□ **Séparateur d'huile**

- Remplacer le filtre coalescent.
- Remplacer le filtre de retour d'huile.
- Contrôler l'état des résistances chauffantes.

■ **Entretien 18 000 heures**

- Nettoyer le condenseur sous haute pression.
- Nettoyer l'évaporateur sous haute pression.
- Vidanger et remplacer l'huile du compresseur.

■ **Entretiens réglementaires**

□ **Contrôle à l'arrêt**

Contrôler tous les 3 ans :

- l'évaporateur,
- le condenseur,
- le séparateur d'huile.

Certains groupes possèdent en supplément des cuves sous pression :

- réservoir réfrigérant ;
- économiseur.

□ **Épreuve hydraulique**

Tous les 10 ans :

- évaporateur,
- condenseur,
- séparateur d'huile,
- réservoir réfrigérant (s'il existe),
- économiseur (s'il existe).

Il vaut mieux coordonner ces opérations avec les nettoyages sous haute pression.

■ **Vérification des fuites**

Les vérifications des fuites, d'après le protocole de Montréal, doivent se faire au moins deux fois par an. Un registre des activités d'entretien devrait indiquer les détails des vérifications de fuite, des charges, des décharges de frigorigène et les réparations.

□ **Détection par l'eau savonneuse**

Formation des bulles en cas de fuite après pulvérisation d'une solution aqueuse épaisse sur les surfaces ou les canalisations à contrôler. Cette méthode convient pour les fuites importantes. Elle ne permet pas de quantifier la fuite.

□ Détection par fluorescence

On introduit un traceur fluorescent dans le circuit basse pression du fluide. Après homogénéisation, il suffit d'inspecter le circuit avec une lampe émettrice de rayons ultra-violet. Les points luminescents jaune-vert apparaissent à l'endroit des fuites.
Ce procédé est satisfaisant pour tous les fluides frigorigènes. Elle peut détecter une fuite minimale de l'ordre de 7 g/an.
Par précaution, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de problème de garantie de l'équipement. Il ne faut pas utiliser l'hexafluoride de soufre pour la détection des fuites, étant donné son potentiel de réchauffement global élevé.

□ Détection électronique à diode chauffée

La détection électronique de fuites réfrigérantes comporte un détecteur électrochimique (céramique) doté d'un élément réactif maintenu à une température élevée par un réchauffeur incorporé. Lorsque le gaz réfrigérant entre en contact avec la céramique, les divers atomes composants du gaz sont séparés de la molécule et ionisés. Le flux du courant électrique créé est dirigé vers une électrode collective.
Avec une sensibilité inférieure à 5 g/an, cette technologie est adaptée à tous les fluides frigorigènes.

□ Détection électronique à conductivité thermique

La conductivité thermique des oxydes métalliques varie fortement selon le gaz en présence. Ceux-ci présentent une bonne sensibilité aux HFC, mais aussi à tous les gaz, inférieure à 5 g/an.
Il faut vérifier que les détecteurs électroniques détectent bien le type de frigorigène utilisé.

9.3 Refroidisseur-réchauffeur

9.3.1 Principe de fonctionnement

La thermodynamique repose sur trois principes :

- un corps réchauffe toujours plus froid que lui ;
- quand on comprime le gaz, on élève sa température ;
- quand on baisse la pression d'un gaz, on diminue sa température.

Le réfrigérateur ne produit pas de froid, mais il extrait de la chaleur contenue à l'intérieur de la cuve, pour la rejeter à l'extérieur.

■ Cycle frigorifique

Le cycle frigorifique est un processus de transfert des calories dont le principe de fonctionnement repose sur une propriété particulière du « fluide frigorigène ».
Ce fluide se vaporise à des températures très basses, entre – 19 °C et – 4 °C. Avec de l'air extérieur à basse température (jusqu'à – 15 °C), on arrive à capter des calories sur cet air par l'intermédiaire de ce fluide.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Le processus de transfert des calories est réalisé dans un circuit fermé composé de quatre éléments principaux :

- Évaporateur : il transfère les calories de l'air extérieur vers le fluide frigorigène qui se vaporise. Et le cycle commence avec le frigorigène en phase gazeuse à basse pression.
- Compresseur : la vapeur obtenue passe dans le compresseur qui, en élevant la pression, élève automatiquement sa température. Le fluide circule alors sous forme de gaz à haute pression.
- Condenseur : la vapeur réchauffée arrive dans le condenseur, un échangeur calorifique qui le met en contact avec un élément plus froid. Il y a donc un transfert de calories. Le fluide revient alors en phase liquide à haute pression.
- Détendeur : après cet échange calorifique, le frigorigène liquide est toujours sous pression. Le détendeur fait baisser sa pression et le cycle recommence en phase liquide basse pression.

■ Refroidissement

C'est le cas du groupe frigorigène. Le cycle frigorifique fonctionne en refroidissement. On récupère du froid évacué par l'évaporateur (figure 9.9).

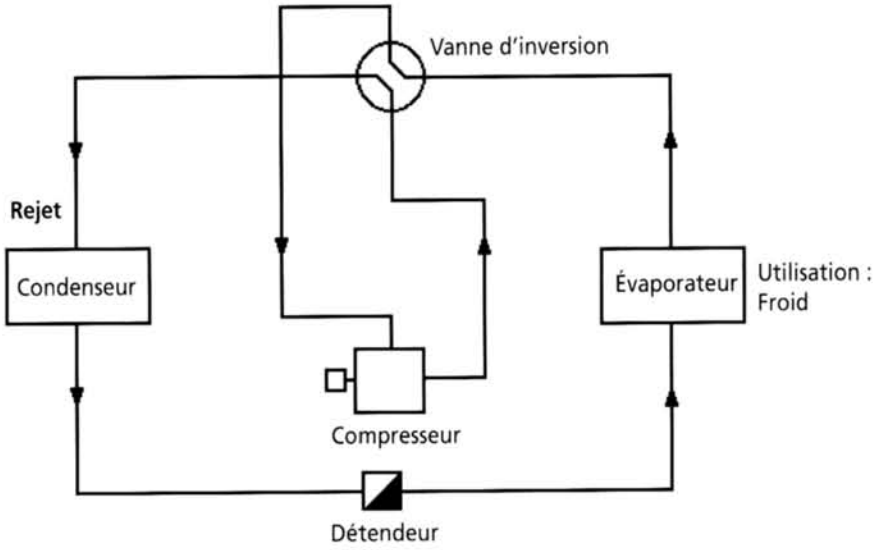


Figure 9.9 – Fonctionnement en réfrigération.

■ Réchauffement

Par une permutation de la vanne d'inversion, on inverse le rôle des deux échangeurs : évaporateur et condenseur. Le cycle frigorifique, réversible, fonctionne alors en réchauffement. On récupère de la chaleur évacuée par le condenseur (figure 9.10).

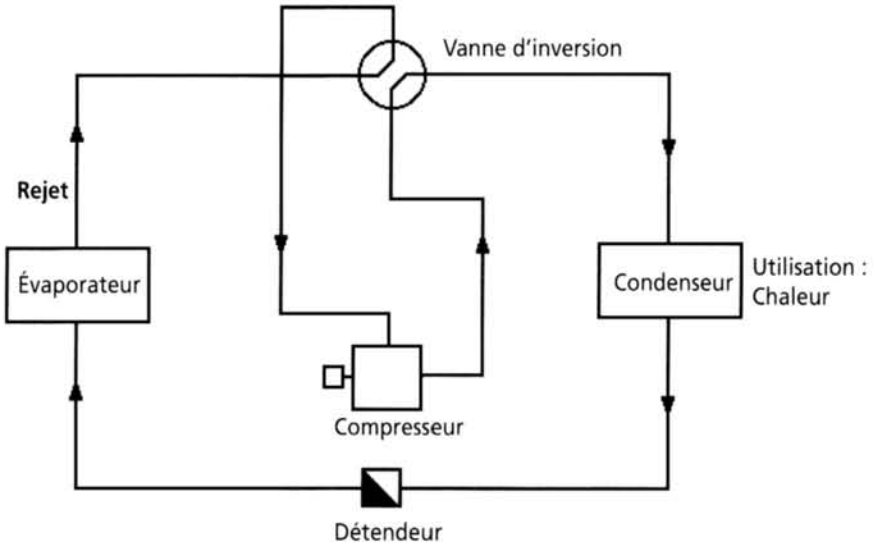


Figure 9.10 – Fonctionnement en réchauffeur.

■ Refroidissement et réchauffement

Le cycle frigorifique peut fonctionner simultanément en refroidissement et réchauffement (figure 9.11). C'est le cas d'un thermofrigopompe : chacun des deux modes de fonctionnement nécessite que les deux sources d'utilisation antagonistes soient contrôlées de façon à ce que l'équilibre des énergies soit toujours maintenu :

Puissance calorifique = Puissance frigorifique + Puissance absorbée

Lorsque l'équilibre n'est pas atteint, il faut évacuer les excédents, ce qui nécessite d'insérer des sources auxiliaires.

9.3.2 Refroidisseur-réchauffeur

■ Application en œnologie

□ Utilisation

Selon le cas, le produit (moût ou vin) est mis en contact avec la source chaude ou la source froide. La machine peut fonctionner soit en réchauffeur, soit en refroidisseur (figure 9.12).

Une pompe volumétrique fait circuler le produit entre le refroidisseur-réchauffeur et la cuve.

La régulation de température est assurée par une sonde placée dans la cuve et un régulateur électronique. L'arrêt de refroidissement ou du chauffage est fonction de la température de consigne fixée par l'utilisateur.

En général, le système utilise des échangeurs à air avec des ventilateurs. Le compresseur est souvent de type à piston.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

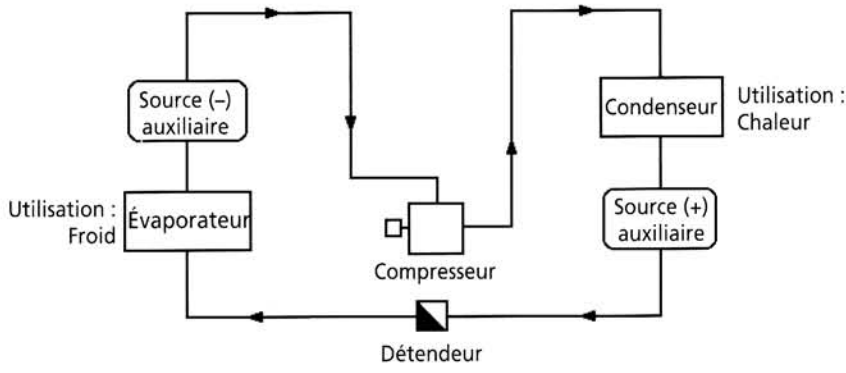


Figure 9.11 – Fonctionnement en refroidissement et réchauffement.

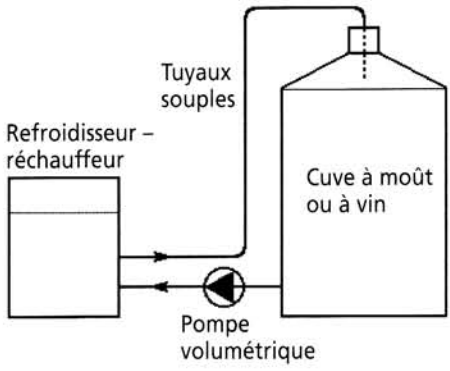


Figure 9.12 – Refroidisseur–réchauffeur mobile.

□ Caractéristiques

La puissance nécessaire d'un refroidisseur-réchauffeur est donnée par la formule :

$$Q_{\text{appareil}} = Q_{\text{nécessaire}} \times \frac{24}{TP_{\text{utilisation}}}$$

avec $Q_{\text{nécessaire}}$ la puissance calculée lors du bilan thermique (frig/h ou kcal/h) et $TP_{\text{utilisation}}$ la durée d'utilisation quotidienne en heures.

Certaines règles sont à connaître :

- La puissance frigorifique d'un refroidisseur-réchauffeur augmente lorsque la température d'évaporation s'élève et la température de condensation s'abaisse.
- La puissance calorifique d'un refroidisseur-réchauffeur diminue lorsque la température du condenseur s'élève et la température de l'évaporateur s'abaisse.

- La plupart des refroidisseurs-réchauffeurs peuvent théoriquement atteindre des températures de – 5 °C nécessaires au traitement de stabilisation des vins.
- La température maximale d'un refroidisseur-réchauffeur vinicole est de l'ordre de 35 à 40 °C.

On utilise les fluides R407 et R134a comme substituts respectivement du R22 et du R12.

■ Application en climatique

Utilisant le fonctionnement du cycle frigorifique, le générateur thermodynamique ou pompe à chaleur permet l'utilisation en chauffage et en climatisation par inversion du cycle. La machine fonctionne avec deux énergies :

- la chaleur prélevée de l'environnement pour évaporer le fluide frigorigène ;
- l'énergie électrique pour faire tourner le compresseur.

□ Chauffage central

L'utilisation peut être le réseau du chauffage central avec des radiateurs en acier, en fonte ou en aluminium. Les dimensions des radiateurs sont calculées pour s'adapter au régime de température particulier de la pompe à chaleur : départ à 50 °C et retour à 45 °C. Les radiateurs seront surdimensionnés par rapport à ceux qui utilisent la chaleur provenant d'une chaudière classique (75/65 °C).
Il est donc quasi impossible d'installer une pompe à chaleur en remplacement d'une chaudière sur un réseau existant, en raison du fait que les radiateurs déjà en place seront inaptes à dégager la puissance nécessaire suivant un régime de température inférieure, à moins que l'installation ne soit surdimensionnée dès l'origine.
Les radiateurs utilisent actuellement un fluide caloporteur dont les performances restent constantes. Ce fluide possède une grande inertie et ne se dégrade pas dans le temps.

□ Ventiloconvecteur

La pompe à chaleur peut alimenter le réseau hydraulique de chauffage central avec la mise en place des ventiloconvecteurs, appareils sous forme de radiateurs équipés d'une turbine et d'une batterie d'échange de calories. Dans ce cas, la pompe à chaleur permettra de chauffer une habitation en hiver et de la rafraîchir en été.

□ Plancher chauffant

La solution haut de gamme en génie climatique consiste à équiper une maison d'un plancher chauffant réversible : chauffant en hiver et rafraîchissant en été. Grâce au plancher chauffant par générateur thermodynamique il est possible de chauffer convenablement les pièces avec une chaleur rayonnante et bien répartie, sans que la température du plancher ne dépasse 25 °C. Cette température reste toujours inférieure à la valeur maximale de 28 °C prescrite par l'arrêté ministériel du 23 juin 1978. La température du plancher est de 20 °C environ en mode de rafraîchissement.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

9.3.3 Pompes à chaleur sol-eau

La pompe à chaleur utilise le cycle frigorifique en échauffement. Les calories captées du sol sont transmises par un évaporateur au fluide frigorigène. Il y a deux types de pompes à chaleur sol-eau qui se distinguent par leur mode de captage de calories.

■ **Pompe à chaleur à collecteur de sol**

Le captage de la chaleur du sol est effectué par un circuit hydraulique en serpentin installé à une profondeur de 0,8 à 1,5 m sous terre. Ce circuit couvre une superficie en moyenne trois fois supérieure à la surface chauffée.
En ce qui concerne le matériel du capteur, les tuyaux en matière plastique d'un diamètre d'environ 20 mm ont fait leur preuve dans la pratique, car ils sont en mesure de résister à l'usure et aux pressions qui surviennent en cas de formation de glace tout autour. La terre de recouvrement ne doit pas contenir des cailloux à angles vifs, ni de gravats. Avant de tasser la terre avec une machine, il faut s'assurer que le capteur est recouvert d'au moins 60 cm de terre.
C'est une technologie à détente directe ; le transfert de chaleur est assuré par le fluide frigorigène fonctionnant en circuit fermé.
Le capteur géothermique enterré constitue l'évaporateur et le plancher chauffant le condenseur (figure 9.13).

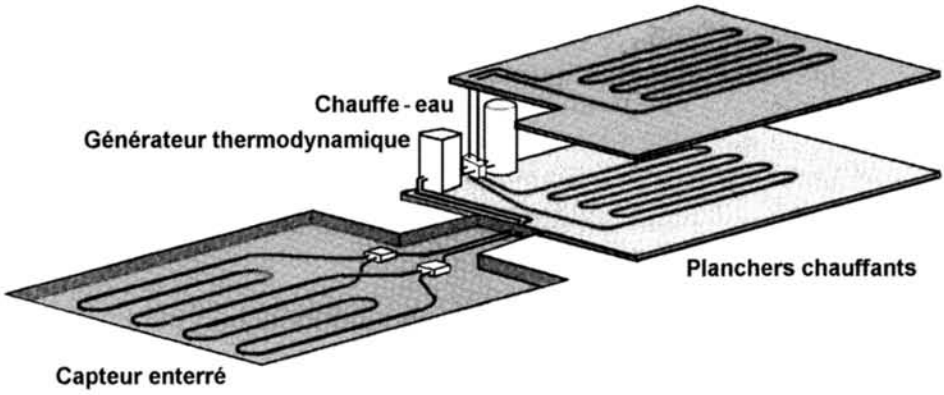


Figure 9.13 – Capteur géothermique enterré.

Plusieurs compresseurs peuvent être utilisés pour chauffer plusieurs zones de la maison à des températures adaptées.
Le générateur thermodynamique permet également de produire l'eau chaude sanitaire ou de chauffer l'eau de la piscine. Dans ce cas, le plancher chauffant est isolé, et la production d'eau chaude est réalisée *via* un échangeur de chaleur ou un ballon d'eau chaude. Une régulation automatique permet de chauffer l'habitation et la piscine pendant la même période, avec une priorité pour le chauffage de l'habitation et la production d'eau chaude sanitaire.

■ Pompe à chaleur à sonde géothermique

L'énergie géothermique est l'énergie calorifique stockée naturellement dans le sous-sol. À partir d'une profondeur de 10 m, la température du sol est constante tout le long de l'année. Cette température augmente de 3,3 °C environ tous les 100 m de profondeur (gradient géothermique).

L'extraction de cette énergie naturelle peut être réalisée au moyen d'une ou plusieurs sondes géothermiques à une profondeur de 50 à 200 m (figure 9.14).

La sonde géothermique est un échangeur de chaleur dans lequel circule un fluide calorigène constitué d'eau et d'antigel.

La sonde est introduite verticalement dans le sol par un forage. Le forage est comblé par du sable ou du ciment.

Le prélèvement calorifique dans le sol peut être évalué à 50 W par mètre linéaire de sonde. Pour une habitation moyenne, la longueur totale de 120 m peut être répartie en deux sondes à 60 m.

La sonde géothermique, couplée avec une pompe à chaleur, constitue une installation de chauffage qui alimente les planchers ou les radiateurs.

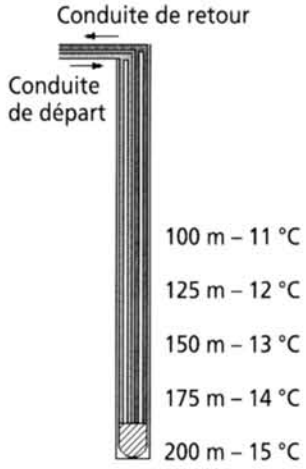


Figure 9.14 – Sonde géothermique.

■ Caractéristiques

- L'énergie absorbée par le moteur compresseur est nettement plus faible que l'énergie produite pour le chauffage. En effet, pour 1 kWh d'énergie électrique consommée, on obtient 4 kWh d'énergie calorifique délivrée pour le chauffage.
- La pompe à chaleur à collecteur de sol présente d'excellentes performances si le circuit de captage de chaleur couvre une surface suffisante. Toute ombre prolongée sur la zone d'un captage horizontal influence l'efficacité de l'installation.
- Le fluide du circuit de captage horizontal doit être protégé des risques du gel.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

- Le réseau d'utilisation avec des radiateurs comprend un circuit de chauffage hydraulique à basse température.
- Les travaux d'installation nécessitent un investissement initial élevé et surtout pour les travaux de forage. Il est plus facile de mettre en œuvre cette technique pour une nouvelle construction.
- En France dans plusieurs cantons, l'utilisation du sol en tant que source de chaleur est subordonnée à l'octroi d'une autorisation officielle.

9.3.4 Maintenance préventive

■ **Fiabilité du système**

Le générateur thermodynamique est un système robuste et fiable en raison de la qualité des composants et d'une conception relativement simple. Aujourd'hui les compresseurs rotatifs remplacent les anciens compresseurs à pistons. La conception des compresseurs rotatifs permet de réduire le nombre des pièces en mouvement et d'assurer la meilleure fiabilité. Les mélanges accidentels huile/réfrigérant en phase liquide sont dorénavant très limités. Les carters à huile des compresseurs sont équipés de résistances destinées à réchauffer l'huile avant le démarrage et des temporisations électroniques interdisent les démarrages à froid ou des cycles d'arrêts/démarrages successifs.

■ **Surveillance régulière**

- Surveiller les paramètres de fonctionnement de l'installation :
  - pression et température de refoulement,
  - pression et température d'aspiration,
  - température d'huile
- Contrôler le niveau d'huile de lubrification.
- Assurer la propreté des gilles de refroidissement de l'échangeur à air.
- Surveiller le fonctionnement des appareils mobiles (refroidisseur-réchauffeur).

■ **Entretien annuel**

Selon la composition des installations :

- Purger les échangeurs à eau et les canalisations au niveau des radiateurs et contrôler le niveau du fluide calorifique.
- Remplacer le filtre d'huile.
- Remplacer le filtre déshydrateur.
- Nettoyer ou remplacer les filtres d'air en sortie des convecteurs.
- Remplacer l'huile du compresseur.
- Contrôler la charge du fluide frigorigène et l'absence de fuite.
- Contrôler le niveau du fluide calorigène ou caloporteur.

ANNEXE

Périodicités des contrôles réglementaires

Équipements de travail

Appareils de levage et de manutention

Désignation/Intervention	Périodicité
Appareils mus mécaniquement installés à demeure : ponts roulants, treuils, portiques, etc.	12 mois
Appareils mus à bras	12 mois
Accessoires de levage	12 mois
Chariots de manutention	12 mois
Chariots de manutention à conducteurs portés	6 mois
Appareils mobiles : grues mobiles, grues auxiliaires sur véhicules, etc.	6 mois
Ponts élévateurs pour véhicule Organes de suspension	12 mois 3 mois
Élévateurs « poste de travail » mus mécaniquement	6 mois
Élévateurs « poste de travail » mus à bras	3 mois
Échelles en bois	6 mois
Ascenseurs et monte-charge, organes de sécurité Câbles et chaînes de levage	12 mois 6 mois
Portes et portails automatiques et semi-automatiques	6 mois
Machines mobiles d'extraction, de terrassement, d'excavation ou de forage du sol à conducteur porté	12 mois
Machines à battre les palplanches	12 mois

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Machines de production

Désignation/Intervention	Périodicité
Presses pour le travail à froid des métaux	3 mois
Presses à vis	3 mois
Presses à mouler (plastique, caoutchouc, métaux)	3 mois
Presses à façonner avec emporte-pièce (cuirs, peaux, papiers, cartons, plastiques)	3 mois
Presses à platine	3 mois
Massicots (papiers, cartons, plastiques)	3 mois
Machines à cylindres (caoutchouc)	3 mois
Presses à balles	3 mois
Compacteurs à déchets	3 mois
Système de compactage des véhicules de collecte (ordures, déchets)	3 mois
Centrifugeuses	12 mois

Mesure de prévention

Désignation/Intervention	Périodicité
Exercice d'entraînement	6 mois
Consignes	à la mise en service
Visite et essais du matériel	6 mois
Systèmes d'alarme	6 mois

Appareils à pression

Appareils à pression vapeur

Désignation/Intervention	Périodicité
Tous appareils : Visite réglementaire Épreuve hydraulique, précédée d'une visite complète	 1 an 10 ans
Appareils à couvercle amovible – autoclaves stérilisateurs : Contrôle des sécurités	 18 mois
Contrôle de fonctionnement des dispositifs de sécurité des chaufferies fonctionnant sans présence humaine permanente	1 an

Appareils à pression gaz

Désignation/Intervention	Périodicité
Appareils fixes : Visite à l'arrêt Épreuve hydraulique, précédée d'une visite complète	 3 ans 5 à 10 ans selon le type de gaz
Appareils mi-fixes ou mobiles : Visite à l'arrêt Épreuve hydraulique, précédée d'une visite complète	 1 à 3 ans 1 à 5 ans selon le type de gaz
Récipients à pression simples CE : Visite à l'arrêt Épreuve hydraulique, précédée d'une visite complète	 3 à 5 ans 5 à 10 ans

Installations électriques

Installations électriques

Désignation/Intervention	Périodicité
Toutes installations	1 an
Emplacements de travail isolants	3 ans

Installations de protection contre la foudre

Désignation/Intervention	Périodicité
Installations classées soumises à autorisation	5 ans

Rayonnements ionisants

Désignation/Intervention	Périodicité
Sources scellées	1 an
Sources scellées – installations classées	6 mois
Appareils générateurs électriques de plus de 10 ans	2 ans
Appareils générateurs électriques de moins de 10 ans	3 ans
Zones surveillées	6 mois

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Prévention et de protection incendie

Matériels de protection individuelle

Désignation/Intervention	Périodicité
Appareils de protection respiratoire autonome destinés à l'évacuation	Depuis moins de 12 mois au moment de leur utilisation
Appareils de protection respiratoire et équipements complets destinés à des interventions accidentelles en milieu hostile	
Gilets de sauvetage gonflables	
Systèmes de protection individuelle contre les chutes de hauteur	
Stocks de cartouches filtrantes antigaz pour appareils de protection respiratoire	

Stockage de produits dangereux

Désignation/Intervention	Périodicité
Cuves, bassins, réservoirs contenant des produits corrosifs	1 an

Réservoirs enterrés contenant des liquides inflammables

Désignation/Intervention	Périodicité
Épreuve	À la mise en service
Ré-épreuve	
Réservoirs en fosses	≤ 25 ans puis tous les 5 ans
Réservoirs enfouis	15 ans à la 1re épreuve 10 ans à la 2e épreuve puis tous les 5 ans

Énergie – Environnement

Installations thermiques

Désignation/Intervention	Périodicité
Installations thermiques (puissance 1 000 th/h ou 300 kW – consommation 300 tep/an) Expertise thermique Mesure de pollution des effluents gazeux	 3 ans

Aération/assainissement des locaux de travail

Désignation/Intervention	Périodicité
Locaux à pollution non spécifique : contrôle de débit d'air neuf	1 an
Locaux à pollution spécifique – installation sans système de recyclage : contrôle de débit d'air extrait et relevé des pressions statiques	1 an
Locaux à pollution spécifique – installation avec système de recyclage : contrôle de la concentration en poussières ou en polluants	6 mois

Risques particuliers

Installations classées

Désignation/Intervention	Périodicité
Installations de combustion : surveillance des rejets	3 mois
Cimenteries : Four Autres installations	 6 mois 1 an
Incinération d'ordures ménagères : surveillance des rejets	1 an
Incinération des cadavres d'animaux	6 mois
Incinération et coïncinération de déchets industriels spéciaux	6 mois
Papeteries : Surveillance des rejets Autosurveillance	 1 an 1 mois
Verreries et cristalleries : surveillance des rejets	1 an
Carrières et installations de premiers traitements : contrôle des poussières et émissions gazeuses	1 an
Stockage des déchets industriels spéciaux : contrôle de lixiviats et qualité des eaux	3 mois
Installations d'élevage : DBO5, DCO, MES, NGL	6 mois
Traitement de surface : surveillance des rejets	3 mois à 1 an
Autres installations	1 an

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Réglementations particulières

Désignation/Intervention	Périodicité
Zone de protection spéciale (ZPS) :	
Département du Nord et du Rhône (consommation > 350 th/h)	2 ans
Paris, Île-de-France (P > 2 MW)	3 ans
Marseille (P > 300 th/h)	3 ans
Agglomération strasbourgeoise (P > 300 th/h)	2 ans
Disconnecteurs : contrôle de règlement sanitaire	1 an
Ambiance des locaux de travail :	
Bruit	3 ans
Amiante	3 mois à 1 an
Benzène	3 mois à 1 an
Plomb	3 mois à 1 an

Bâtiment

Amiante

Désignation/Intervention	Périodicité
Évaluation de l'état de conservation (N) des flocages et des calorifugeages :	
si N = 1 : Contrôle de l'état de conservation	3 ans
si N = 2 : Mesure d'empoussièrement (E)	3 ans
E = 5 fibres/litre : Contrôle de l'état de conservation	3 ans
5 f/l < E < 25 f/l : Contrôle de l'état de conservation	2 ans

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

accouplements
  caractéristiques 134
  défaut d'alignement 136-142
  entretien 142
  types 132
accumulateur à piston
  application 245, 246
  entretien 246, 247
  principe 244, 245
accumulateur à vessie
  application 242-244
  entretien 244
  principe 241
activités
  d'amélioration 18
  de maintenance 18
aléas de fonctionnement 6
AMDEC 49, 52
analyse vibratoire 100
  anomalies 111
  méthodes de mesure vibratoire 103
  seuils d'alarme 109, 110, 112
  sélection des machines 109
analyses 72, 73
appréciations 56
arborescences 27
automate programmable
  constitution 297-301
  entretien 306, 307
  exploitation 301-306

B

batterie d'accumulateurs
  entretien 263-265
  précautions 264
  surveillance 263
  utilisations 261-263

C

cardan
  caractéristiques 160, 161
  entretien 165
  utilisation 162-164
causes d'échec 24
centrale hydraulique
  caractéristiques 227-229
  circuit 223-226
  dysfonctionnement 229-233
  entretien 233, 234
  fluides 226, 227
  principe 221-223
chaîne de manutention
  caractéristiques 169-171
  entretien 171-173
  types 165-168
chaîne de transmission
  entretien 157-159
  montage 156
  types 154-156
charge 24
codeur magnétique
  applications 349
  caractéristiques 349
  entretien 350
  fonctionnement 348

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

codeur optique
caractéristiques 346
entretien 348
fonctionnement 343-345
utilisations 347
codification 35
compresseur à pistons
entretien 190
précautions 192
principe 188-190
compresseur à vis lubrifiés
entretien 185-188
fonctionnement 185
conditionnement d'air comprimé
entretien 212, 213
principe 208-211
utilisation 211, 212
conditions d'exploitation 48
courbe de baignoire 16
courroie
entretien 147-151
montage et précautions 152-154
surveillance 146, 147
types 143-146
coût de possession 46
critère de proximité 9

D

décomposition fonctionnelle 28
découpage fonctionnel 28
démarche participative 19
démarche technique 27
détecteur de proximité
caractéristiques 308, 309
entretien 327-329
fonctionnement 328-331
installation 335-338
détecteur optoélectronique
caractéristiques 332-335
entretien 338
fonctionnement 328-331
installation 335-338
détecteur ultrasonique
caractéristiques 346
entretien 348
fonctionnement 343-345
utilisations 347
détection d'anomalie 4
diagramme de Gantt 71
documents constructeurs 48
dysfonctionnement 175, 176
entretien 179
précautions 180
surveillance 177, 178
types 173-175

E

espérance mathématique 17
étude de déclassement 15, 46
étude des dérives 5

F

facteurs de réussite 24
fiabilité 15
fiche de maintenance préventive 53

G

gamme
d'entretien 53
de maintenance préventive 58
gestion des stocks 7
GMAO 30, 68, 72, 75
groupe frigorifique industriel
constitution 362-366
entretien 368-371
précautions 366-368

H

historique 40, 48

I

instruction
de graissage 8, 61, 63
de nettoyage 8
technique 59

L

lancement, ordonnancement 67, 70
lissage des charges 65
lubrification 79
  additif 80
  analyse des huiles 92
  consistance 83
  graisse 84
  indice de viscosité 82
  lubrifiant 79, 88
  périodicité de lubrification 87
  prélèvement d'huile 98, 99
  système de lubrification 89
  vidange 100
  viscosité 80
  viscosité cinématique 81
  viscosité dynamique 81

M

maintenance 3
  corrective 3
  préventive 4, 11, 15, 17, 25
  préventive conditionnelle 5
mesure d'épaisseur 116
  courant de Foucault 117
  induction magnétique 117
  ultrason 116
moteur à courant continu
  caractéristiques 268, 269
  constitution 265
  entretien 271-279
  surveillance 269-271
  types 266-268
moteur frein
  entretien 289-292
  types 288, 289
moteur synchrone triphasé
  caractéristiques 284, 285
  constitution 280-284
  entretien 288
  protection 285-287
  surveillance 287, 288
MTBF 16, 17

N

niveaux de maintenance 9

O

nombre de postes d'arrêt 61, 64
ordonnancement 7

P

paramètres 6
  d'usage 28, 29
  d'usure 28, 29
plan de maintenance préventive 19, 47, 50, 55
planification 61, 68
pompe
  filtration d'huile hydraulique
  entretien 234
  principe 234-238
  accumulateur à membrane
  entretien 240
  précaution 240, 241
  principe 238, 239
  utilisation 239, 240
préparation des arrêts 70
principes élémentaires 7
production du froid
  caractéristiques 353-361
  fonctionnement 351-353

R

ratios
  économiques 22
  techniques 23
refroidisseur-réchauffeur
  applications 375-377
  caractéristiques 374
  entretien 378
  fonctionnement 371-373

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

règle de l'art 8
relation humaine 7
remplacement systématique 4
roulements
  défaillances 124
  graissage 125, 126, 128-130
  lubrification 127, 128, 131
  surveillance 125
  types 123

S

sécheur par absorption
  entretien 206, 207
  principe 194, 204, 205
sécheur par adsorption
  asservissement 198
  entretien 200
  principe 194, 196, 197
  surveillance 199
sécheur par réfrigération
  entretien 203, 204
  précautions 203
  principe 194, 200-202
sécurité humaine 7
sélectivité 40
  critère de production 41
  criticité multiple 42
  sur coût global 42
  abaques de Noiret 43
servomoteur
  entretien 294, 295
  principe et utilisation 292-294
seuil de correctif résiduel 17
sources 47
sous-traitance 25
surpresseur
  entretien 184
  fonctionnement 181
  implantation 182
  surveillance 182-184

T

tableau de bord 21
taux de défaillance 15, 16
télémaintenance 6
thermocouple
  caractéristiques 320-324
  constitution 318-320
  dysfonctionnement 327
  entretien 327-329
  principes de mesure 325, 326
thermographie infrarouge 112
  applications 114
  thermogramme 113
TPM 17, 18, 19
traitement de l'air comprimé
  déshydratation 193, 194
  point de rosée 194
  principe 192
transformateurs de puissance
  caractéristiques 256-258
  constitution 253-256
  entretien 258-261

V

vérin hydraulique
  constitution 248
  entretien 251, 252
  précautions 251
  réglages 249, 250
  types 247, 248
vérin pneumatique
  caractéristiques 213-215
  entretien 216, 217
  essai 217-219
  surveillance 215
visite
  en marche 5
  réglementaire 7, 11, 75, 379
  systématique 4

TECHNIQUE ET INGÉNIERIE

Série Gestion industrielle

GESTION INDUSTRIELLE

CONCEPTION

MÉCANIQUE

MATÉRIAUX

CHIMIE

ENVIRONNEMENT

Jean Héng

PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Mécanique • Pneumatique Hydraulique • Électricité • Froid

La maintenance préventive consiste à vérifier l'état de fonctionnement et d'usure des matériels, de façon régulière et planifiée, afin de suivre leur dégradation et de prévenir les pannes.

Cet ouvrage constitue un véritable guide pratique pour la mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive dans l'entreprise :

- la première partie expose les **méthodes** permettant de mettre en place un **plan de maintenance préventive** ;
- la deuxième partie propose une centaine de **fiches pratiques** décrivant les actions de maintenance préventive à entreprendre, pour chaque type de matériel (contrôles non destructifs, mécanique, pneumatique, hydraulique, électricité, automatisme, froid).

Ce livre constitue un support de réflexion et de travail indispensable aux responsables, ingénieurs et techniciens de maintenance soucieux de mettre en place, au sein de leur entreprise, une maintenance fiable adaptée aux enjeux économiques actuels.

JEAN HÉNG

Après une première expérience dans le transport aérien puis comme responsable de maintenance de la radiodiffusion au Cambodge, l'auteur a été ingénieur-conseil en maintenance industrielle pour le cabinet international Cort-Sotratec. Il est aujourd'hui consultant indépendant.



ISBN 2 10 005651 0

L'USINE NOUVELLE

http://www.dunod.com

DUNOD